

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до проведення самостійної, контрольної, лабораторних робіт
із дисципліни

«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

*(для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»
спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології)*

Методичні рекомендації до проведення самостійної, контрольної, лабораторних робіт із дисципліни «Матеріалознавство» (для студентів освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : С. В. Шаповал. – Харків. : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 62 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. С. В. Шаповал

Рецензенти:

О. В. Кондращенко, доктор технічних наук, професор Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

А. А. Жигло, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою технології будівельного виробництва та будівельних матеріалів, протокол № 1 від 30.09. 2017.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Самостійна робота студентів.....	5
2 Контрольна робота.....	7
3 Лабораторні роботи.....	12
<i>Лабораторна робота № 1</i> Макроскріпичний метод дослідження металів та сплавів.....	12
<i>Лабораторна робота № 2</i> Мікроскопічний метод дослідження металів та сплавів.....	31
<i>Лабораторна робота №3</i> Визначення критичних точок і побудова діаграми стану для сплавів.....	42
<i>Лабораторна робота № 4</i> Контроль якості зварних з'єднань вуглецевих сталей.....	47
Список рекомендованих джерел.....	62

ВСТУП

Програма вивчення навчальної дисципліни «Матеріалознавство» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є метали і сплави для нафтогазової інженерії та технології. Вивчення цієї дисципліни безпосередньо спирається на фізику, хімію, основи геології. На результати вивчення цієї дисципліни безпосередньо спираються: теорія механізмів і машин, матеріали та трубопровідна арматура трубопроводів та сховищ.

Метою викладання навчальної дисципліни «Матеріалознавство» є набуття студентами знань, умінь і навичок, які дозволять оцінювати можливість і доцільність застосування сучасних матеріалів у нафтогазовій технології та інженерії.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «Матеріалознавство» є

- вивчити фізико-механічні властивості сплавів чорних і кольорових металів і оволодіти методами їх визначення;
- вказати галузі застосування металів, сплавів на їх основі та композиційних матеріалів.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

- **знати** фізико-механічні властивості сплавів чорних і кольорових металів, методи їх визначення; галузі застосування металів, сплавів на їх основі та композиційних матеріалів; технологічні основи виробництва матеріалів і їх обробки;
- **вміти** користуватися технічною документацією щодо властивостей матеріалів; оцінювати можливість і доцільність застосування у нафтогазовій технології та інженерії сучасних матеріалів; кількісно визначати фізико-механічні параметри матеріалів, які використовуються на пожежонебезпечних об'єктах.

1 САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ

Самостійна робота виконується студентами під час практичних занять в робочих зошитах. Після пояснювання загальних положень щодо вирішення поставлених завдань викладач задає вихідні дані студентам за варіантами.

Для засвоєння лекційного курсу студенти вдома письмово в робочих зошитах відповідають на поставлені запитання. Обсяг роботи – 2-3 арк.

Поточне оцінювання виконання самостійних робіт здійснюється під час проведення практичних занять і має на меті перевірку рівня підготовленості студента до виконання конкретної роботи. Об'єктами такого контролю є:

- підготовка до занять та якість ведення зошиту з практичних занять, відвідування занять;
- виконання завдань безпосередньо на практичних заняттях;
- захист самостійної роботи.

Знання студентів оцінюються за кожною роботою: при оцінюванні за національною шкалою – за системою «зараховано» або «незараховано», за шкалою ECTS успішний захист всіх робіт становить 5 % від усієї кількості балів із дисципліни.

Тема 1 Вступ. Роль вітчизняних та зарубіжних учених у розвитку науки «Матеріалознавство».

1.1 Значні досягнення Аносова П.П. у галузі металургії.

1.2 Праці Чернова в області інтенсифікації металургійних процесів і вдосконалення техніки виробництва.

1.3 Французький вчений Ф. Осмонд про поліморфні перетворення в сталі.

Тема 2 Характеристика основних груп властивостей металів. Особливості різних методів визначення твердості металів.

Тема 3 Плавлення металів. Механізм кристалізації металів. Можливість регулювання процесу кристалізації з метою одержання необхідних структури і властивостей.

Тема 4 Залізовуглецеві сплави. Зв'язок між діаграмами стану і властивостями сплавів.

Тема 5 Леговані сталі та сплави. Вплив легування на структурні перетворення і властивості сталей.

Тема 6 Чавуни. Історія виробництва чавуну.

Тема 7 Кольорові метали і сплави. Порівняльна характеристика кольорових металів.

Тема 8 Класифікація конструкційних матеріалів. Розвиток конструкційних матеріалів.

Тема 9 Матеріали із особливими технічними властивостями. Галузі застосування жароміцних і жаростійких, нержавіючих і холодостійких сталей та сплавів, сплавів спеціального призначення.

Тема 10 Порошкові матеріали. Порошкова металургія конструкційних матеріалів.

10.1 Застосування порошкових матеріалів

10.2 Технологія порошкової металургії

Тема 11 Корозія металів. Біокорозія. Боротьба з корозією.

11.1 Хімічна корозія

11.2 Електрохімічна корозія

Тема 12 Поняття про металургію. Поняття про способи одержання високоякісної сталі.

Тема 13 Ливарне виробництво та його значення для народного господарства. Характеристика основних видів обробки металів тиском.

Тема 14 Основи технології і організації виробництва металевих виробів. Технологія виготовлення виробів із металевих порошків.

2 КОНТРОЛЬНА РОБОТА

Навчальним планом при вивченні дисципліни «Матеріалознавство» передбачено виконання контрольної роботи (КР) для студентів заочної форми навчання. Виконання КР необхідне для систематизації, закріплення та розширення теоретичних і практичних знань з дисципліни. Контрольна робота виконується у 4 семестрі студентами заочної форми навчання. Приблизний обсяг контрольної роботи складає 12-15 сторінок, куди входять відповідь на теоретичне питання за конкретною темою та рішення задачі.

Оцінювання виконання (КР).

Якість виконання КР оцінюється за такими критеріями:

- самостійність виконання;
- логічність і послідовність викладення матеріалу;
- повнота розкриття теми (теоретична частина);
- проведення розрахунків при виконанні задач;
- обґрунтованість висновків;
- використання довідкової літератури;
- якість оформлення.

Знання оцінюються за національною шкалою або за системою оцінювання за шкалою ECTS.

Варіант № 1

1. Проаналізуйте вплив домішок на властивості сталі.
2. Перелічіть фактори, що впливають на вибір матеріалів для обладнання газовидобувної галузі.
2. Проаналізуйте діаграму сплавів I роду.
3. Поясніть маркування сталей звичайної якості.
4. Використання ковких чавунів у машинобудуванні.

Варіант № 2

1. Що таке сталь? Охарактеризуйте властивості сталі, зарекомендуйте сфери використання різних марок сталей.
2. Проаналізуйте умови роботи обладнання в газонафтовій промисловості.
3. Накресліть діаграму стану сплавів заліза з вуглецем. Покажіть на цій діаграмі лінії ліквідусу і солідусу.
4. Проаналізуйте діаграму сплаву II роду.

Варіант № 3

1. Накресліть криві нагрівання й охолодження заліза, укажіть критичні точки.
2. Сформулюйте основні вимоги до матеріали, з яких виробляють труби для газонафтової промисловості.
3. Поясніть маркування ковких чавунів.
4. Як класифікуються сталі і чавуни?

Варіант № 4

1. Назвіть три типи атомно-кристалічних ґрат металів, що найбільше часто зустрічаються.
2. Які механічні властивості можна встановити при розтягуванні металу?
3. Поясніть маркування високоміцних чавунів.
4. Сформулюйте правило фаз. Поясніть, що таке варіантність.

Варіант № 5

1. Що таке цементит?
2. Види сплавів та їх характеристика.
3. Типи кристалічних ґраток.
4. Використання вуглецевих інструментальних сталей.

Варіант № 6

1. Кристалічна будова металів.
2. Алотропічні перетворення металів (показати на прикладі заліза).
3. Класифікація вуглецевих сталей.
4. Використання в машинобудуванні високоміцних чавунів

Варіант № 7

1. Що означає лінія “солідус” на діаграмах стану?
2. Властивості основних структур залізовуглецевих сплавів.
3. Від чого залежать властивості металів?
4. Класифікація чавунів.

Варіант № 8

1. Якими хімічними елементами визначається якість сталі?
2. Що таке мартенсит?
3. Використання в машинобудуванні якісних вуглецевих сталей.
4. Використання в машинобудуванні сірих чавунів

Варіант № 9

1. Що означає лінія “ліквідус” на діаграмах стану?
2. Властивості основних структурних складових діаграми сплаву Fe – Fe₃C.
3. Використання в машинобудуванні сталей звичайної якості.
4. Чим зумовлені процеси перекристалізації металів?

Варіант № 10

1. Технологія отримання ковких чавунів.
2. Яка різниця між сталями і чавунами за хімічним складом?
3. Основні види структур залізовуглецевих сплавів.
4. Дайте визначення хіміко-термічної обробки (ХТО).

Варіант № 11

1. Позначення основних легуючих елементів у легованих сталях.
2. Маркування бабітів.
3. Хімічний склад бронзи.
4. Використання латуні

Варіант № 12

1. Класифікація легованих сталей за призначенням.
2. Маркування магнієвих сплавів.
3. Хімічний склад латуні
4. Використання бронзи.

Варіант № 13

1. Класифікація легованих сталей залежно від вмісту вуглецю.
2. Маркування титанових сплавів.
3. Термічна обробка сталей з особливими електричними та магнітними властивостями.
4. Використання жароміцних і теплостійких сталей.

Варіант № 14

1. Класифікація легованих сталей залежно від вмісту основного легуючого елемента.
2. Маркування силуміну.
3. Хімічний склад жароміцних і теплостійких сталей.
4. Термічна обробка магнієвих сплавів.

Варіант № 15

1. Маркування дюралюмінію.
2. Хімічний склад зносостійких сталей.
3. Термічна обробка титанових сплавів.
4. Використання нержавіючих сталей.

Варіант № 16

1. Маркування ресоро-пружних сталей.
2. Хімічний склад нержавіючих сталей.
3. Термічна обробка силуміну.
4. Використання зносостійких сталей.

Варіант № 17

1. Маркування, склад і використання металокерамічних твердих сплавів для обробки металів різанням.
2. Маркування швидкорізальних сталей.
3. Хімічний склад сталей з особливими електричними та магнітними властивостями.
4. Термічна обробка дюралюмінію.

Варіант № 18

1. Особливості термічної обробки легованих сталей.
2. Маркування покращувальних сталей.
3. Термічна обробка нержавіючих сталей.
4. Використання сталей з особливими електричними та магнітними властивостями.

Варіант № 19

1. Маркування сталей з особливими електричними та магнітними властивостями.
2. Хімічний склад покращувальних сталей.
3. Термічна обробка швидкорізальних сталей.
4. Використання ресоро-пружних сталей.

Варіант № 20

1. Відпускна крихкість легованих сталей II роду.
2. Маркування нержавіючих сталей.
3. Хімічний склад ресоро-пружних сталей.
4. Використання дюралюмінію.

3 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Основна мета лабораторних робіт – ознайомлення студентів з практичним використанням методів дослідження та випробуванням металів для рішення основних наукових і технічних завдань. Студенти мають вивчити структуру металу, вплив на неї пластичної деформації та термічної обробки.

Лабораторна робота № 1

МАКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Мета роботи: ознайомитися з основними об'єктами дослідження макроструктури металів і технологією їх виготовлення, засвоїти основні методи макроскопічного аналізу металів і сплавів.

Теоретичні відомості

Макроскопічний аналіз (макроаналіз) – це метод дослідження будови металів і сплавів неозброєним оком або через лупу при невеликих збільшеннях (до 30 разів). Будову металів і сплавів, яку визначають за допомогою макроскопічного аналізу називають **макроструктурою**.

Макроаналізом можна виявити такі важливі *особливості будови металу*: грубі неметалеві включення; приховані дефекти металу (тріщини, пористість, усадкова пухкість, зональна неоднорідність, газові пори, центральна пористість, свищі, шлакові включення тощо); вид зламу й особливості кристалічної будови матеріалу, причини руйнування деталі; характер кристалічної будови (дендритна будова, ділянки транскристалізації литого металу, зерниста будова прокатного і відпаленого металу, волокниста структура деформованого металу, розміщення волокон у композиційному матеріалі тощо); наявність включень у металі та характер їх розміщення (наприклад, ліквація в сталях сульфідів, фосфідів й інших включень); структура металу, що формується при первинній кристалізації; ступінь хімічної неоднорідності та будови поверхневих шарів виробів після термічної,

хіміко-термічної та термомеханічної обробки; неоднорідність будови сплавів, зумовлена обробкою тиском; структура та якість зварних з'єднань (не провари, шаруватість наплавленого металу, шлакові включення, усадкова пухкість, ліквация домішок тощо).

Необхідно зауважити, що мікроаналіз не є завершальним методом дослідження. Він лише дає змогу зробити попередній висновок про структуру металу і не виявляє багатьох особливостей його будови.

Об'єкти макроскопічного аналізу. Макроструктуру можна вивчати на таких об'єктах дослідження: поверхня виробів, заготовок (напівфабрикати, поковки, виливки тощо), зламах та макрошліфах. Поверхня заготовки або виробу дає інформацію про дефекти макроструктури, які утворилися безпосередньо на його поверхні: шламові включення, тріщини, пористість, пухкість тощо.

Злам – це поверхня повного руйнування зразка або деталі. Будова зламу може свідчити про характер прикладеного навантаження (розтягування, стискання, кручення, згинання або складніші схеми деформування), зміну його у часі (статичне, динамічне, циклічне), а також структурний стан матеріалу. Науку, що визначає будову зламів, називають фрактографією. Вивчення будови зламів макроскопічним аналізом є одним з найдавніших методів оцінки якості матеріалів.

Макрошліфи – це вирізані з виробу або напівфабрикату зразки з плоскою шліфованою поверхнею, будову яких вивчають після травлення хімічними реактивами. Дослідження макрошліфів дає змогу розв'язувати широке коло завдань при оцінці якості матеріалів.

Класифікація зламів за основними ознаками. Макроскопічне дослідження зламів передбачає їх оцінку і класифікацію за такими основними ознаками: особливостями будови, характером силової дії, орієнтацією поверхні руйнування, мікрогеометрією поверхні, енергією та мікромеханізмом руйнування, ступенем пластичної деформації під час руйнування, шорсткістю, блиском, кольором.

За особливостями будови злами поділяють на *крихкі, в'язкі (пластичні), втомні й змішані*. За характером силової дії розрізняють *злами від тривалого або короткочасного одноразового статичного або динамічного навантажень*, а також *від циклічного (багаторазового) навантаження*.

За ступенем пластичної деформації при руйнуванні виділяють *злами крихкі, квазікрихкі та в'язкі*. Критерієм, за яким оцінюють ступінь пластичної деформації при руйнуванні, є відносне звуження при випробуваннях на розтяг: для *крихкого зламу* $\psi < 1,5 \%$, *квазікрихкого* $\psi = 1,5 \%$ і *в'язкого* $\psi > 1,5\%$.

За ступенем шорсткості, блиском і кольором злами поділяються на *кристалічні, волокнисті, волокнисто-стрічкові, волокнисто-лускаті, кам'яністі, фосфористі, нафталінові, оксамитові, блискучі, матові, сірі, чорні* тощо. Відмінність за кольором є однією з характерних ознак зламів, пов'язаних з будовою, умовами випробування і ступенем легуваності сталі. Вуглецеві сталі мають сріблястий колір зламу, нікелеві – світло-сірий, а марганцевий – тьмяно-сірий.

Крихким (рис.3.1) називають злам, що утворився при руйнуванні без видимої макропластичної деформації, переважно під впливом пружної деформації. Крихке руйнування матеріалу характеризується малими значеннями ударної в'язкості та незначною мікропластичною деформацією.



Рисунок 3.1– Зразок з чавуну після крихкого руйнування

Крихкі злами можуть бути *череззеренні* (руйнування розповсюджується тілом зерен) або *міжзеренні* (процес руйнування проходить переважно вздовж границь зерен). Відрізнити череззеренний злам від міжзеренного, особливо при малих розмірах зерен, важко, наприклад для сталей, тоді як для окремих кольорових металів це зробити легко.

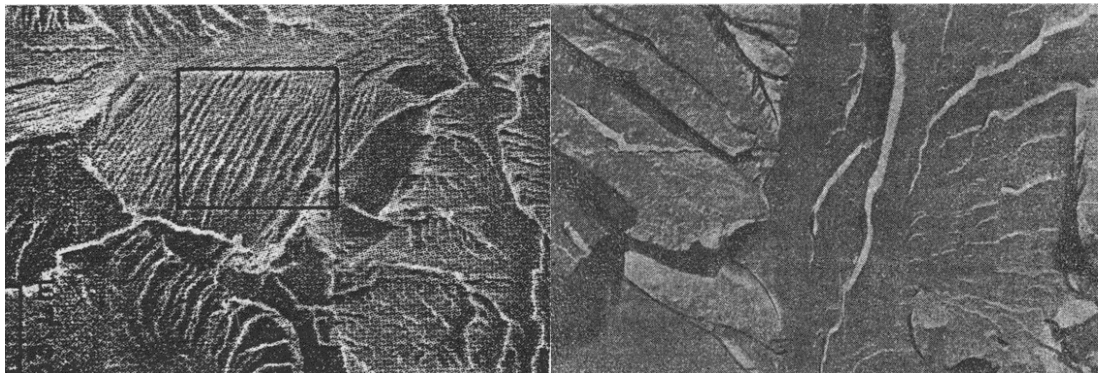
Поверхня крихких зламів складається з великої кількості гладких площинок – *фасеток* (рис. 3.2, а), на яких відсутні видимі сліди пластичного деформування. Унаслідок цього злам – світлий, блискучий. Поверхня фасетки є певною кристалографічною площиною зерен матеріалу (площиною спайності). Тому найчастіше розміри фасеток відповідають розмірам тих структурних складових, по границях яких проходить (локалізується) руйнування (наприклад, зерен, колоній перліту). Крихкі злами орієнтуються перпендикулярно до напрямку найбільших макроскопічних напружень розтягу.

Сходінка – елемент поверхні крихкого або квазікрихкого руйнування, що утворюється при з'єднанні двох поверхонь руйнування, що розташовані на різних рівнях, або в результаті відколу вздовж межі мікродвійників. Спостерігається при внутрішньозеренному крихкому руйнуванні (рис. 3.2, б).

Відкол – механізм крихкого руйнування: розділення металу по площинках, що збігається з кристалографічними площинками зерен (внутрішньозеренний відкол) або плоскими ділянками між зернами (міжзеренний відкол). Характеризується поверхнею руйнування, що складається з фасеток, сумірних з розмірами зерен, і практично не має ознак пластичної деформації.

Квазівідкол – механізм внутрішньозеренного квазікрихкого руйнування, що характеризується розділенням металу по площинках, що не збігаються з кристалографічними площинками зерен. Характеризується поверхнею руйнування, що складається з фасеток, які мають розміри менше розмірів зерен, зі слабо вираженими ознаками локальної пластичної деформації.

Злиття мікропустот – механізм внутрішньозеренного або міжзеренного в'язкого руйнування, що характеризується поділом металу шляхом зародження, росту і злиття мікропор при пластичній течії металу. Характеризується поверхнею руйнування, що має ямковий мікрорельєф з різним ступенем розвитку ямок і значною пластичною деформацією всієї поверхні (рис.3.2, в, г).



а

б



в

г



д

е

Рисунок 3.2 – Елементи мікробудови поверхні зламів: а – фасетки відколу з ділянкою втомних рівчаків; б – сходинки відколу, в – міжзеренне руйнування, г – внутрішньозеренне в'язке руйнування, д – рівчаківий узор
е – язички

Рівчаковий узор – елемент будови поверхні фасеток відколу і квазівідколу, що утворюється в результаті руйнування перемичок між фасетками, які розташовані в довколишніх кристалографічних площинках, паралельних один одному, і являє собою систему сходинок відколу, що зливаються. Напрямок злиття сходинок відколу в рівчаковому узорі відповідає напрямку поширення тріщини (рис. 3.2, д).

Язички – елементи будови поверхні фасеток відколу трикутної або трапецієподібної форми, які утворюються в результаті локального руйнування вздовж поверхні розділу матриця-двійник, спостерігаються при внутрішньозеренному крихкому або квазікрихкому руйнуванні (рис.3.2, е).

Осередок руйнування – ділянка поверхні зламу, в якому відбулося зародження тріщини.

Зона зародження тріщини – ділянка зламу, прилегла до осередку руйнування.

Зона розвитку тріщини – ділянка зламу, що знаходиться далеко від осередку зародження тріщини.

Зона долому – ділянка зламу, що прилягає до закінчення тріщини у поверхні зразка, протилежна осередку зародження тріщини. Розрізняють тріщини первинні, які поширюються з осередку руйнування і утворюють поверхню руйнування, і вторинні, що поширюються з окремих центрів руйнування, що розташовані на поверхні зламу і є поперечними щодо площини первинного зламу.

Злам певною мірою є своєрідною фотографією тих процесів, які відбувалися при руйнуванні досліджуваного об'єкта.

В'язким (пластичним) називають злам, що утворився при руйнуванні зі значною за величиною пластичною деформацією. Значна деформація, що передують утворенню в'язкого зламу, змінює форму і розмір поперечного перерізу зразка або деталі (рис. 3.3). Ці зміни найпомітніші поблизу зламу та є ознаками пластичного руйнування. На досить в'язких зламах найчастіше присутні такі дефекти, як *шифрність, розшиарування, виріши*. Їх виникнення

пов'язане з різною здатністю до деформування сусідніх груп волокон, які тією чи іншою мірою є ознакою пластичного руйнування.



Рисунок 3.3 – Зразок з алюмінієвого сплаву після в'язкого руйнування

Поверхня в'язкого зламу внаслідок сильної деформації зерен у приповерхневому шарі не має кристалічного блиску, темна, тьмяна, оксамитова, волокниста. На поверхні в'язких зламів так само, як і на поверхні крихких, можуть спостерігатися нерівності у вигляді рубців, що виходять з початкової зони руйнування.

Утворення в'язкого зламу означає, що матеріал до руйнування витримав напруження, співмірне з границею міцності. Причинами виникнення пластичних зламів під час експлуатації виробів головним чином є значні перевантаження, які виникли або через стрімке порушення нормальних умов роботи конструкції, або помилки, допущені при розрахунках її на міцність.

Втомні злами виникають унаслідок циклічного багаторазового навантаження деталі, що може змінюватися в часі не тільки за амплітудою, але й за напрямками (наприклад, стискання-розтягування). Напруження в умовах втомного руйнування переважно не перевищують границю плинності матеріалу. Втомні злами мають характерні блиск і будову: частина поверхні

зламу гладка, притерта, з наявністю концентричних ліній, інша частина зламу може бути в'язка або крихка (рис.3.4).

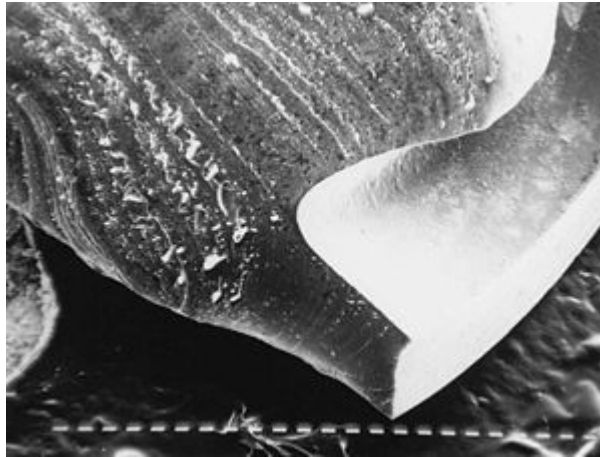


Рисунок 3.4 – Приклад руйнування матеріалу від втоми

На поверхні втомного зламу можна виокремити характерні ділянки і зони, такі, як фокус зламу, осередок руйнування, зона поширення втомної тріщини, зона доламування (рис. 3.5). Втомне руйнування є найбільш розповсюдженим видом руйнування деталей машин і механізмів у різних галузях техніки.

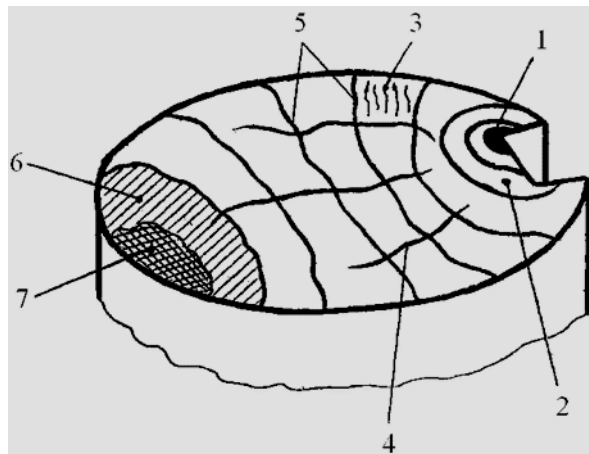


Рисунок 3.5 – Схема будови поверхні втомного зламу: 1 – осередок руйнування; 2 – приосередкова зона; 3 – втомні рівчаки; 4 – сходишки скидання; 5 – втомні лінії; 6 – ділянка прискореного розвитку тріщини; 7 – зона долому

Змішаними називаються злами, на поверхні яких розташовані макроскопічні ділянки крихкого й пластичного (в'язкого) руйнування.

Частка в'язкої складової в зламі є одним з критеріїв оцінки в'язкості матеріалу, її визначають як відношення площі зламу, яку займає в'язка складова, до всієї її площі. Аналогічно відновлення площі крихких ділянок у зламі до всієї площі зламу є критерієм оцінки крихкості зламу.

Крихкі, в'язкі, змішані злами утворюються як при статичному, так і при динамічному (ударному) навантаженнях.

На практиці в більшості випадків доводиться мати справу з комбінованими і складними зламами внаслідок поєднання двох або більше видів деформаційного впливу, комбінації їх з фізико-хімічними й тепловими чинниками (наприклад, робота турбінної лопасті за підвищених температур в умовах тривалого статичного навантаження і вібрації).

Особливості будови зламів

Поверхня зламу містить залишкові ознаки, і можна судити про умови навантаження, осередок руйнування і процес збільшення тріщини до остаточного руйнування. Характерні особливості будови зламів кожного даного сплаву не постійні, а змінюються певним чином залежно від зміни в'язкості матеріалу, пов'язаного з конкретною термічною обробкою і конфігурацією зразка.

При статичному одноосьовому розтягуванні циліндричного гладкого зразка напружений стан матеріалу характеризується такими параметрами: розтяжне напруження σ_1 діє в поздовжньому напрямі, а стискальне σ_3 – в поперечному, дотичне напруження τ , спрямоване під кутом 45° до осі зразка (рис.3.6).

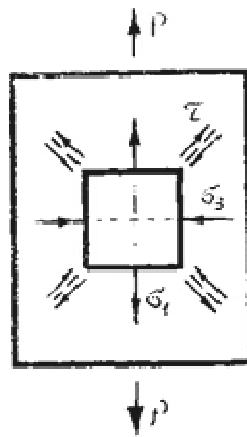
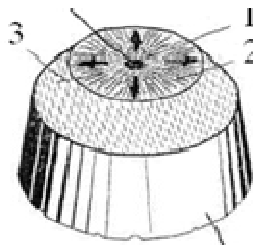


Рисунок 3.6 – Схема напрямку дії напруження при розтягуванні циліндричного гладкого зразка

Руйнування при осьовому розтягуванні гладкого зразка починається поблизу його осі і поширюється у напрямку до поверхні. У загальному випадку для поверхні зламів характерною є наявність трьох зон: волокниста, радіальна і зона зрізу (рис.3.7).

Осередок руйнування



Шийка зразка

Рисунок 3.7 – Схема будови поверхні зламу циліндричного гладкого зразка: 1 – волокниста зона; 2 – радіальна зона; 3 – зона зрізу

Залежно від структури і властивостей матеріалу зразка на зламах можуть бути відсутніми деякі зони. Волокниста зона відповідає області повільного зростання тріщини, і вона оточує осередок руйнування. Ця зона поширення тріщини формується в результаті злиття мікропустот (рис. 3.8, а) і характерна для в'язкого руйнування. Радіальна зона характеризується переходом до швидкого (нестабільного) поширення тріщини з утворенням радіальних втомних рівчаків, які збігаються із загальним напрямом розвитку

тріщини. Ці рубці, що розходяться, починаються або від периферії волокнистої зони з формуванням у цьому випадку дна «чашки», або від самого осередку руйнування з формуванням зламу типу «зірочки», характерного при руйнуванні менш пластичних матеріалів. Радіальні рубці на зламах сталей є елементами зсуву, і зовнішній їх вигляд побічно залежить від в'язкості металу: чим менший об'єм металу залучений в деформацію, тим менш рельєфними стають радіальні рубці. Наприклад, у високоміцних сталях із структурою відпущеного мартенситу радіальні рубці на поверхні зламу тонкі.

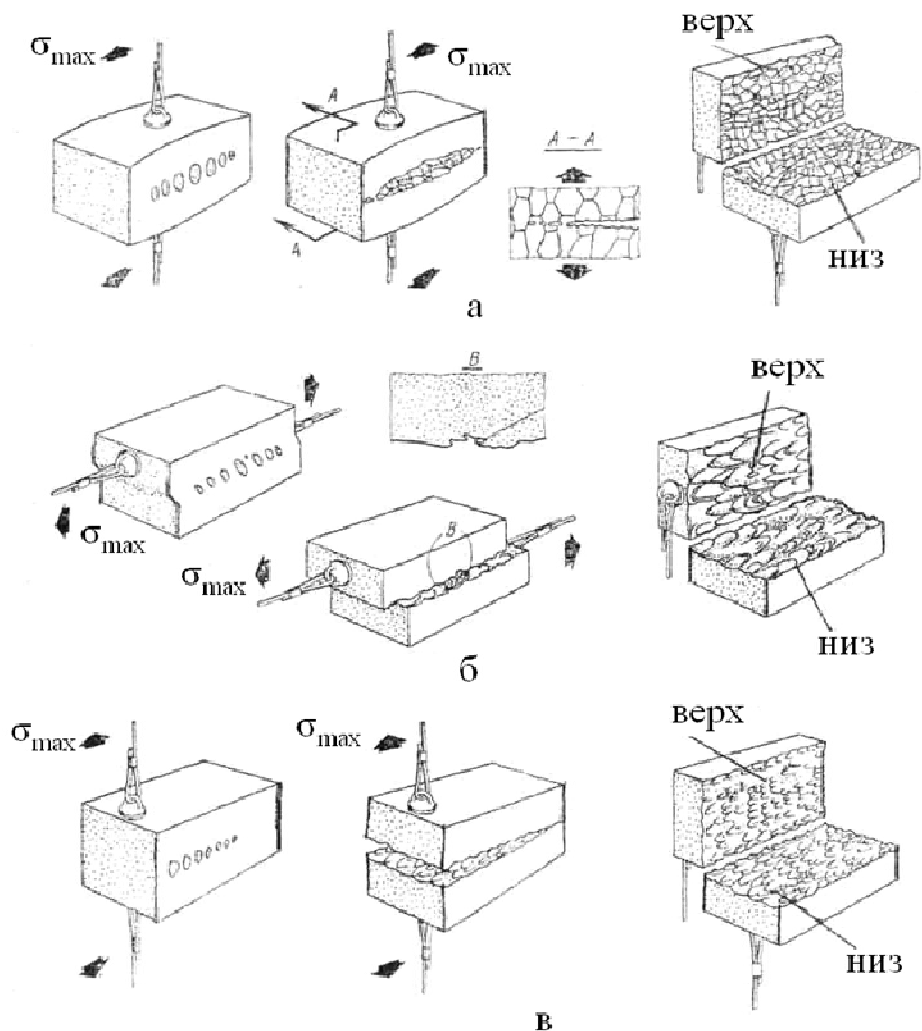


Рисунок 3.8 – Вплив напрямку максимального напруження (σ_{\max}) на мікрорельєф поверхні зламу, що утворюється шляхом злиття мікропустот:
а – ямки рівновісні; б – витягнуті (овальні); в – подовжені

Зона зрізу утворюється в результаті зміни напружено-деформованого стану, і тріщина змінює напрям розвитку у бік максимального дотичного напруження з утворенням бокового кільцеподібного скосу, орієнтованого під кутом 45° до основної поверхні руйнування. Частка зони зрізу в загальній площі зламу залежить від в'язкості матеріалу, із зменшенням в'язкості знижується частка зони зрізу в зламі.

Макрозлами (рис. 3.9) за орієнтацією до напрямку прикладеного зусилля поділяють на прямий, косий і прямий зі скосами («чашковий»). Прямим називають злам, поверхня якого орієнтована перпендикулярно до напрямку найбільших розтягувальних зусиль. Така орієнтація зламу є характерною ознакою макрокрихкого руйнування. Прямий злам зі скосами утворюється найчастіше при розтягуванні низьковуглецевих конструкційних, а також легованих сталей.

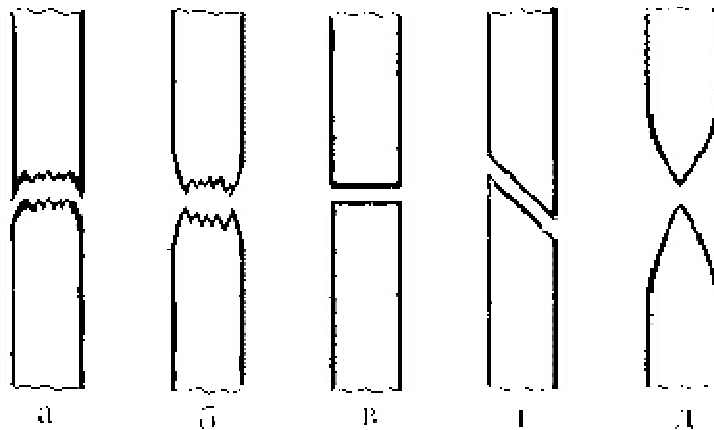


Рисунок 3.9 – Характерні види макрозламу при розтягуванні: а – чашка-конус; б – подвійна чашка; в – прямий; г – косий; д – конічний

Косий злам має поверхню руйнування, орієнтовану під кутом до осі зразка, і утворюється шляхом зрізу в площині максимального дотичного напруження. Спостерігається найчастіше при руйнуванні анізотропних матеріалів з обмеженою пластичністю. Розміри скосів збільшуються із зростанням зони пластичної деформації, супутньої руйнуванню. При

максимальній пластичності матеріалів у зоні розтягування чистих металів (*Pb*, *Al*, *Cr*) можуть утворюватися повністю конічні злами.

Форма і розміри зразків при випробуванні визначають напружений стан у матеріалі і чинять відповідно вплив на вигляд поверхні зламу. Співвідношення зон зламу у квадратних і прямокутних зразках істотно відрізняється від зразків з круглим поперечним перерізом. Головна відмінність зовнішнього вигляду пов'язана з радіальною зоною.

У прямокутних зразках радіальна зона має вигляд шеврона або «ялинки» (рис.3.10, 3.11).

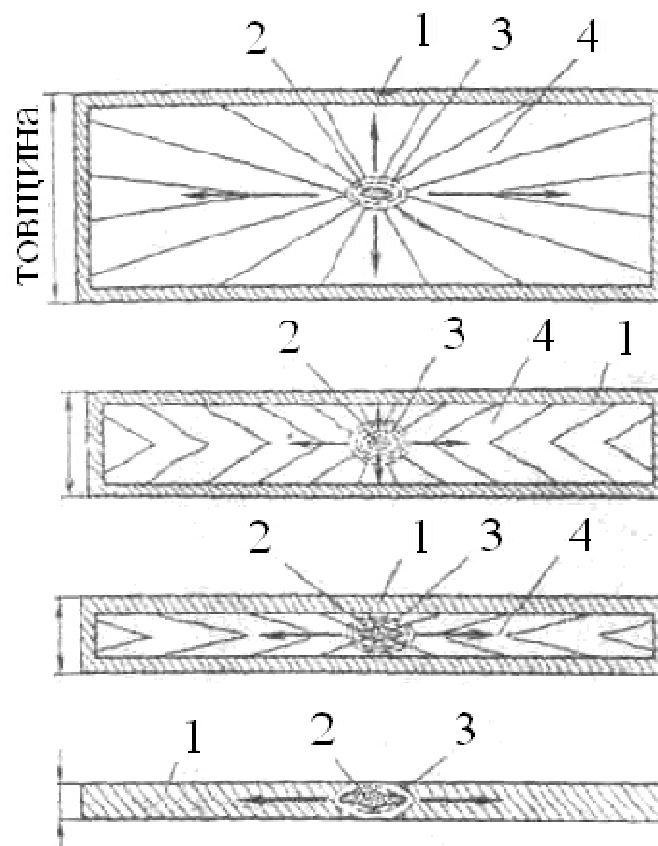


Рисунок 3.10 – Вплив товщини прямокутних зразків на будову поверхні зламу при розтягуванні: 1 – зона зрізу; 2 – осередок руйнування; 3 – волокниста зона; 4 – радіальна зона

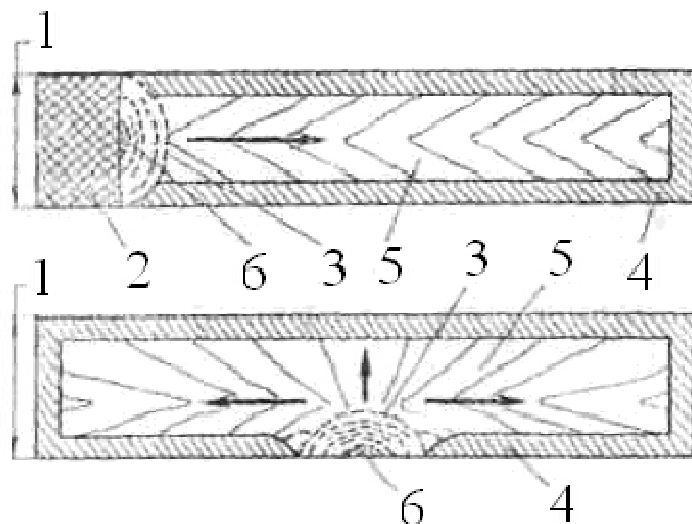


Рисунок 3.11 – Будова зламів на прямокутних зразках із концентратором напруження: 1 – товщина перерізу; 2 – поверхня надрізу; 3 – волокниста зона; 4 – зона зрізу; 5 – радіальна зона; 6 – осередок руйнування

Шевронні узорі пов'язані з нестабільним відносно швидким поширенням тріщини, і їх поява обумовлена відсутністю збігу загального напрямку розвитку тріщини і найкоротшого напрямку від фронту тріщини до вільної поверхні. Близькість вільної поверхні до фронту тріщини обумовлює зміну напрямку поширення тріщини. Радіальні рубці перестають бути прямолінійними і поширюються у напрямку до вільної поверхні. Шевронні узорі допомагають при визначенні місця розташування осередку руйнування, оскільки вершини V-подібних узорів спрямовані у бік, протилежний напрямку розвитку тріщини, таким чином, вершини узору вказують той напрям, в якому можна знайти осередок руйнування. Наприклад, при визначенні місця розташування осередку руйнування в зламах корпусів судів, трубопроводів, цистерн, балонів високого тиску, тобто при руйнуванні виробів з листового прокату.

При ударному згині злам являє собою поверхню поділу, що отримується шляхом руйнування згином надрізаних зразків. Характерною особливістю є утягання зламу, що оцінюється величиною максимальної деформації за двома боковими площинками і залежить від механічних

властивостей металу і температури випробування. Вимірюється величина утягання (l, мм) за внутрішньою поверхнею (рис.3.12).

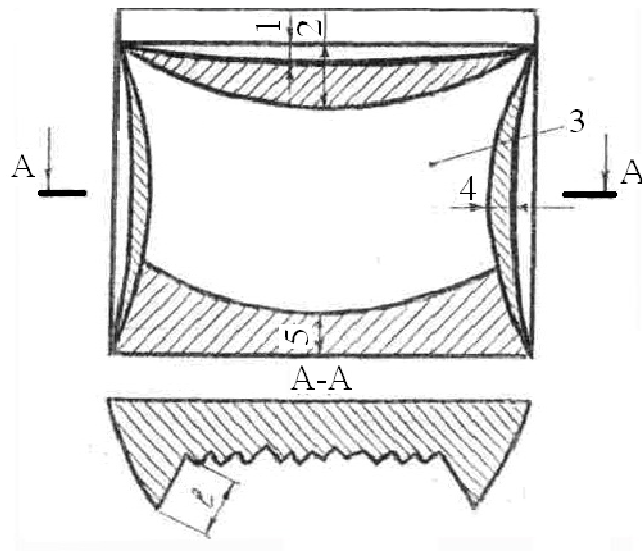


Рисунок 3.12 – Схема будови поверхні зламу при динамічному згині:
1 – осередок руйнування; 2 – зона зародження тріщини; 3 – зона розвитку тріщини; 4 – утягання; 5 – зона долому

Аналіз будови поверхні при ударних випробуваннях дозволяє визначити особливості розвитку тріщин при визначенні критичної температури крихкості (КТК), вплив макро- і мікро неоднорідності будови металу, дію на метал високих температур, наявності включень і не суцільності металу.

Виготовлення макрошліфів. *Проба* – це частина металопродукції, яка відібрана для виготовлення з неї заготовок для зразків. *Заготовка* – це частина проби, з якої виробляють зразки. Інколи заготовкою може бути проба. *Зразок* – це частина проби або заготовки певних розмірів, яка використовується для досліджень. Зразки для мікроаналізу вирізають із проби на металообробних верстатах або іншим способом. Зразки вирізають з одного або кількох місць виливок, заготовок або деталей як у повздовжньому, так і в поперечному напрямках. Після цього зразки з невисокою твердістю обробляють на фрезерному або стругальному верстаті, а зразки з високою твердістю – на плоскошліфувальному. Для отримання гладкішої поверхні

зразки шліфують вручну шліфувальним папером грубої зернистості водному напрямку. Після цієї операції зразки промивають проточною водою, просушують, знежирюють, тобто отримують макрошліф, який у подальшому піддають травленню. Агресивна дія реактивів неоднакова на різних ділянках макрошліфа. Реактив активніше взаємодіє на тих ділянках макрошліфа, на яких наявні різного роду дефекти та неметалеві включення.

Для контролю та вивчення макроструктури катаних і кованих заготовок, поковок використовуються зразки, які називають *темплетами*. *Темплет* – це поперечний зразок, який вирізають у напрямку, перпендикулярному до повздовжньої осі виробу.

Заготовки і темплети вирізають усіма способами механічної обробки, які не викликають зміни температури: Різанням, фрезеруванням, струганням тощо. Температура у місці вирізання не повинна перевищувати 50 – 60 °С. Часто проби вирізають пилами, абразивними кругами, кисневими різаками, залишаючи припуск на механічну обробку 20 – 50 мм. Поверхня зразків (темплетів) має бути рівною, гладкою, без слідів наклепу і перепалу.

Методи і реактиви макроскопічного аналізу макрошліфів. У сталі можуть бути виявлені два різні характери її будови: дендритний і зернистий. Дендритна будова є типовою для литого металу. Вона утворюється під час кристалізації за рахунок одночасної дії високої швидкості охолодження та направленого відведення тепла. Така лита структура відрізняється від структури прокатного металу, а також від литого і повільно охолодженого (має зернисту будову). Після гарячої обробки тиском (кування, прокатування, пресування тощо) форма дендритів видозмінюється. Вони витягуються вздовж напрямку деформування металу й утворюються волокна. Домішки (сульфіди, оксиди, шлаки) також витягуються вздовж напрямку деформації. Волокна металу внаслідок неоднакового складу і будови по різному розтравлюються реактивами.

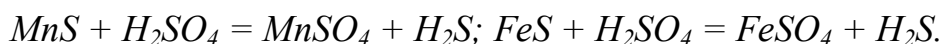
Для виявлення макроструктури металів і сплавів найчастіше застосовують такі методи: *глибоке травлення, поверхнєве травлення*

відбитків (наприклад, метод Баумана). Для реалізації цих методів з метою виявлення й аналізу макроструктури використовують хімічні реактиви, якими є технічні кислоти, їх суміші, розчини солей та спеціальні добавки.

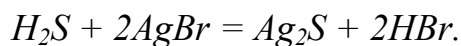
Метод відбитків (метод Баумана) є різновидом методу поверхневого травлення. Цей метод від двох попередніх відрізняється тим, що макроструктуру металу визначають не безпосередньо на поверхні шліфа, а за його відбитком на фотопапері чи фотоплівці. Він дає змогу виявити в сплавах наявність і розподіл вуглецю, шкідливих домішок (сірки й фосфору), неметалевих включень (оксидів) та інших елементів (наприклад, свинцю).

Для виявлення сірки та фосфору, які у залізовуглецевих сплавах утворюють відповідно сульфід MnS і FeS та фосфід Fe_3P , фотографічний бромистосрібний глянцеви́й папір замочують на світлі впродовж 5 – 10 хв. у 5 %-му водному розчині сульфатної кислоти (H_2SO_4), потім його виймають і між аркушами фільтрувального паперу видаляють зайвий розчин. Після цього зайвий макрошліф шліфованою поверхнею прикладають до емульсійного шару фотопаперу й обережно, не допускаючи його зміщення, притискають і розгладжують пальцями для видалення тих повітряних бульбашок, які залишилися між папером і макрошліфом, оскільки пухирці залишають білі плями і маскують результати аналізу. Фотопапір витримують на макрошліфі 2 – 3 хв., швидко промивають під струменем проточної води, фіксують 20 – 30 хв. у розчині тіосульфату натрію, після цього знову промивають у воді протягом 10 хв. і просушують.

Сірчисті включення MnS і FeS , які є в при поверхневих шарах металу, реагують з кислотою, що залишилася на фотопапері, за реакціями

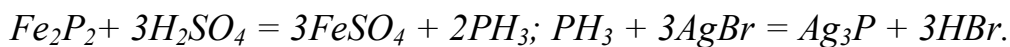


Утворений сірководень реагує з кристалами бромистого срібла фотоемульсії за реакцією



Темні ділянки сульфиду аргентуму, що утворилися на фотопапері, показують форму і характер розподілу сульфідів феруму або мангану.

Якщо в сталі або в чавуні міститься підвищена кількість фосфору, то на ділянках значної його ліквідації також можуть відбуватися реакції з утворенням фосфідів аргентуму темного кольору:



Порядок виконання роботи

1. Отримати набір зламів. Зарисувати схеми зламів: втомного, крихкого, в'язкого, змішаного. У змішаному зламі визначити частку в'язкої складової. Позначити на рисунках основні зони зламів. Визначити й описати особливості будови поверхні руйнування заданих зразків.

2. Підготувати макрошліфи, пошліфувати поверхні двох зразків: темплета і зварного з'єднання, промити їх у проточній воді та просушити. Знежирити поверхні, протираючи їх ватою, змоченою бензином або етиловим спиртом.

3. Дослідити наявність та характер розподілу шкідливих домішок на поверхні темплета за методом Баумана.

4. Зарисувати схему макроструктури зварного з'єднання, будову наплавленого металу.

5. Написати звіт по роботі, в якому сформулювати основні поняття про завдання та методи макроаналізу; навести схеми макроструктур зразків досліджуваних зламів і зварного шва з позначеннями їх основних ділянок та виявлених характерних особливостей будови і дефектів; подати відбиток макрошліфа, одержаного за методом Баумана; зробити висновки про можливі причини руйнування виробу (за будовою зламу) та розподіл сірки на поверхні макрошліфа.

Правила, матеріали та інструменти

Для проведення роботи необхідно мати набір зламів залізовуглецевих сплавів, зразки для приготування макрошліфів (вуглецева сталь, зварні з'єднання), реактиви (5 % розчин сульфатної кислоти, розчин гіпосульфату натрію), шліфувальний папір, плоске скло, фотопапір, етиловий спирт або

бензин, фільтрувальний папір, ванночки, скляна або фарфорова посудина, пінцет, гумові рукавиці, вата, проточна вода, альбом макроструктур.

Контрольні питання

1. Що таке макроскопічний аналіз, у чому полягає його суть?
2. Які особливості будови металів і сплавів можна виявити мікроаналізом?
3. Що називають макроструктурою?
4. На яких об'єктах досліджують макроструктуру?
5. Що називають зламом?
6. За якими ознаками класифікують злами?
7. На які види поділяють злами за особливостями їх будови?
8. Які злами називають крихкими?
9. Які злами називають череззеренними та міжзеренними?
10. Які злами називають в'язкими?
11. При дії яких навантажень виникає втомний злам і з яких основних зон він складається?
12. Що таке макрошліф і який технологічний процес його приготування?
13. Що таке темп лет і як його вирізають?
14. Які реактиви використовують для глибокого і поверхневого травлення?
15. Поясніть суть методу відбитків.

МІКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи: вивчити принцип дії та будову металографічного світлового мікроскопа, засвоїти методику виготовлення мікрошліфів, набуті практичних навичок проведення металографічного аналізу на світловому мікроскопі.

Теоретичні відомості

Металографія як розділ металознавства вивчає структуру металів і сплавів. Одним з основних методів металографії є *світлова мікроскопія*, що дає можливість під збільшенням у 50 – 1500 разів проводити такі металографічні дослідження: вивчати морфологію, кількість, форму, розміри та розташування структурних складових; досліджувати структурні зміни внаслідок термічної, деформаційної чи корозійної дії на метал; виявляти мікроскопічні порушення суцільності металу: тріщини, порожнини, поруватість тощо.

Ці дослідження виконують шляхом огляду відполірованої та протравленої поверхні зразка, який називається мікрошліфом, у полі зору світлового (оптичного) мікроскопа. Структуру, яку виявляють та оцінюють при цьому, називають *мікроструктурою*, а метод дослідження – *мікроскопічним аналізом*.

Виготовлення мікрошліфів. Об'єктом мікроскопічних досліджень є *мікрошліф* – зразок з відповідно підготовленою поверхнею для дослідження. Виготовлення мікрошліфа складається з таких операцій, як вирізання зразка з досліджуваного матеріалу чи виробу, шліфування, полірування й травлення поверхні.

Вирізання й закріплення зразків. Вибір місця вирізання зразка визначається метою металографічного дослідження. Зразки вирізають різноманітними способами: різанням ножівкою, точінням, фрезеруванням, електроерозійним чи електрохімічним обробленням. Для чорнового

вирівнювання поверхні застосовується обпилювання напилком чи шліфування на верстаті з інтенсивним охолодженням. Режими вирізання й чорнового шліфування не повинні змінювати структуру матеріалу внаслідок наклепу чи нагрівання. Зручною є циліндрична або призматична форма зразка з лінійними розмірами 10 – 30 мм.

Для забезпечення чіткого не розмитого зображення при поверхневої структури мікрошліфів поверхня їх країв має бути такою ж пласкою, як і поверхня центральних ділянок. Тому перед шліфуванням зразки оптимальних розмірів, особливо дрібні зразки (дріт, тонкі стрічки тощо), закріплюють у струбцинах, затискаючи гвинтами між двома пластинами, або заливають у порожнистих оправках найчастіше акриловими чи епоксидними смолами так, щоб поверхня мікрошліфа була на одному рівні з поверхнею смоли і краєм оправки.

Шліфування. Шліфують вручну або механічно на верстатах шліфувальним папером, який розрізняють за такими ознаками:

величиною часток абразиву (150 – 10 мкм);

матеріалом абразиву: карбід силіцію (карборунд), оксид алюмінію (корунд), кварц, алмаз;

матеріалом основи: папір, тканина.

Шліфування розпочинають на папері з грубозернистим абразивом і, поступово зменшуючи розмір частинок абразиву, завершують шліфування на дрібнозернистому папері. Щоразу зі зміною паперу зразок протирають чи промивають, змінюють напрямок шліфування на 45 – 90° і шліфують до зникнення рисок від шліфування на попередньому папері. Шліфування буває двох видів: ручне та механічне.

Ручне шліфування виконують на шліфувальному папері, покладеному на рівну поверхню, рівномірно притискаючи зразок до шліфувального паперу під час робочого руху від себе. Механічне шліфування здійснюється автоматично на спеціальних автоматичних машинах, на обертових дисках яких закріплюється шліфувальний папір. До паперу притискаються

закріплені в затискачах зразки, які також можуть здійснювати рух за певною траєкторією.

Полірування усуває ризики від шліфування на дрібнозернистому папері й робить поверхню мікрошліфа дзеркальною. Як полірувальні матеріали застосовують водні суспензії або пасти абразивних дисперсних порошоків (алмазу, оксидів хрому, алюмінію, заліза). Для одержання дзеркальної поверхні мікро шліфа достатньо використати полірувальний матеріал кількох розмірів зернистості, завершуючи полірування порошками розміром 1 – 3 мкм.

Найпоширенішими видами полірування є механічне й електролітичне. Механічне виконують на полірувальних верстатах з обертовими дисками, покритими сукном, оксамитом чи цупким папером, на які наносять полірувальні матеріали. Під час ручного чи автоматичного полірування прошліфований зразок злегка притискають до обертового диска. Полірування завершують після усунення всіх рисок й одержання дзеркальної поверхні промиванням водою, спиртом і просушуванням мікрошліфа.

Електростатичне полірування виконується у ванні з електролітом. Зразок, як анод, і катод з корозійностійкої сталі занурюють в електроліт та вмикають в електричне коло постійного струму. Під час електролізу відбувається анодне розчинення виступів на шліфованій поверхні зразка, що забезпечує полірування. На відміну від механічного електролітичне полірування менш тривале й не викликає поверхневого наклепу, який спотворює структуру.

Травлення. Спостереження полірованої поверхні мікро шліфа в світлому полі мікроскопа не виявляє жодних елементів та складників структури, крім неметалевих виділень та порушень суцільності матеріалу (тріщин, поруватості тощо). Відбивальна здатність неметалевих сполук – оксидів, нітритів, сульфідів, силікатів та ін. – значно менша, ніж відбивальна здатність металів. Тому в полі зору мікроскопа вони завжди темніші. Їх розрізняють за формою, розмірами, розташуванням, забарвленням.

Для виявлення мікроструктурних ознак, невидимих під мікроскопом на полірований поверхні, застосовується хімічне чи електрохімічне травлення.

Для хімічного травлення поліровану поверхню мікрошліфа занурюють у відповідний хімічний реактив (травник) і витримують у ньому протягом певного часу (до потьмяніння і втрати блиску). Як реактиви для травлення використовують водні чи спиртові розчини кислот, солей, лугів. Травлення полягає в різній інтенсивності розчинення й взаємодії окремих структурних складників з травником. Різні структурні ділянки відрізняються за електродними потенціалами. Ділянки з більшими електронними потенціалами стають катодами відносно сусідніх анодних ділянок з меншими електронними потенціалами. Аноди в цих мікрогальванічних парах у середовищі електроліту, яким є травник, розчиняються, утворюючи відповідний рельєф на поверхні. Після травлення мікрошліф промивають водою, спиртом і просушують.

Електролітичне травлення виконують так само, як і електролітичне полірування, тільки за іншими режимами.

Травлення змінює контраст окремих зерен, виявляє границі зерен, двійників, різні фази внаслідок створення характерного рельєфу. Нерівності поверхні розсіюють світлові промені, виводячи їх за межі оптичної системи мікроскопа при спостереженні у світловому полі. Тому чим рельєфні ший структурний елемент, тим темніший він у полі зору мікроскопа.

Протравлені мікро шліфи можна певний час зберігати в ексикаторі – скляній посудині зі щільно допасованою кришкою і гігроскопічною речовиною всередині.

Металографічний світловий мікроскоп забезпечує формування збільшених зображень структурних об'єктів у відбитому від поверхні мікрошліфа світлі.

Мікроскоп МИМ-7 складається з наступних основних частин: джерела світла, корпусу й верхньої частини (рис. 3.13). Оптична схема мікроскопу МИМ-7 представлена на рисунку 3.13.

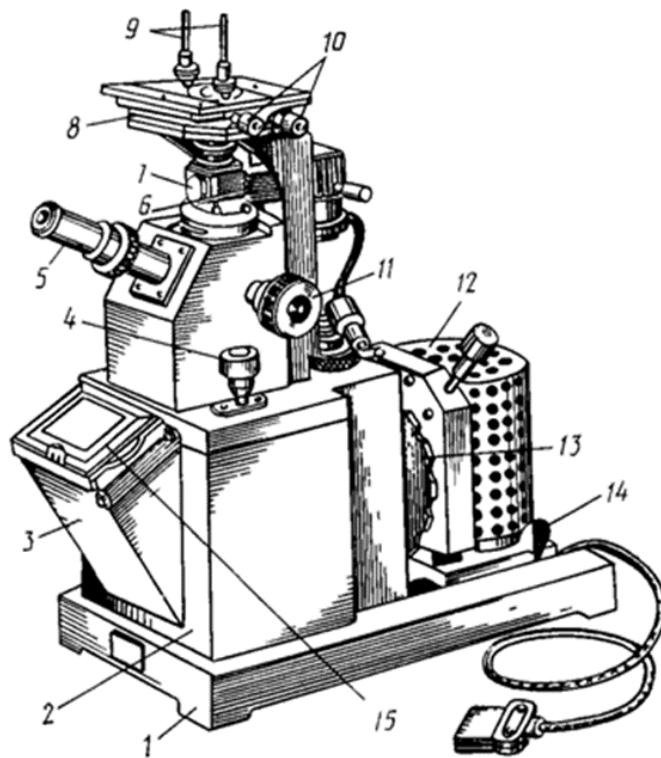


Рисунок 3.13 Загальний вигляд мікроскопу МИМ – 7

1 – основа, 2 – корпус, 3 – фотокамера, 4 – мікрометричний гвинт, 5 – візуальний тубус з окуляром, 6 – ручка ілюмінатора, 7 – ілюмінатор, 8 – предметний столик, 9 – клєми, 10 – гвинти переміщення столика, 11 – макрометричний гвинт, 12 – освітлювач, 13 – ручка світофільтрів, 14 – стопорний пристрій освітлювача, 15 – рамка з матовим склом.

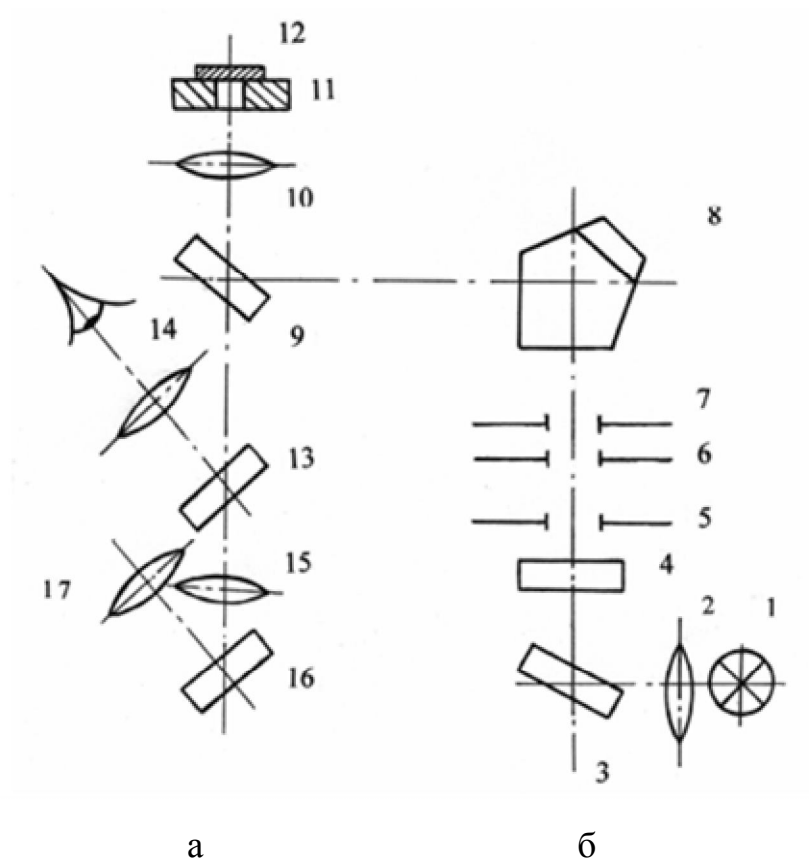


Рисунок 3.14 – Оптична схема мікроскопу МИМ-7 (а – хід променів при роботі в світловому полі, б – при роботі в темному полі): 1 — освітлювач; 2 — колектор; 3 — світловий фільтр; 4 — дзеркало; 5 — ахроматична лінза; 6 — апертурна діафрагма; 7 — поляризатор; 8 — фотозатвор; 9 — польова діафрагма; 10 — пентапризма; 11 — лінза світлого поля; 12 — зразок; 13 — об’єктив; 14 — відбиваюча пластина; 15 — аналізатор; 16 — ахроматична лінза; 17 — дзеркало; 18 — окуляр; 19 — фотоокуляр; 20 — дзеркало; 21 — фотопластинка або матове скло; 22 — лінза темного поля; 23 — заслінка (вмикається при роботі в темному полі); 24 — кільцеве дзеркало; 25 — параболічне дзеркало.

При візуальному спостереженні тубус рухають до упору, а при фотографуванні висувають до відмови. Предметний столик, який за допомогою гвинтів може пересуватися у два взаємно перпендикулярних напрямки. У центрі предметного столика є вікно, у нього вставляють одну зі змінних підбивок з отворами різного діаметра. На предметному столику розташовані пластинки, якими мікрошліф притискається до підбивки предметного столика. Макрометричний гвинт служить для переміщення

предметного столика у вертикальному напрямку, і цим проводиться грубе налаштування на фокус. Затискним гвинтом фіксують певне положення предметного столика; щоб він мимовільно не спускався. Для закріплення столика на потрібній висоті на кронштейні столика награвірована риска, яка установлюється проти крапки, награвірованої на корпусі мікроскопа.

За допомогою мікрометричного гвинта переміщують столик у вертикальному напрямку й точно наводять на фокус. Крок мікрометричної подачі 3 мм, ціна розподілу барабана – 0,003 мм.

В світловій мікроскопії використовують дві основних методики освітлення: світлого й темного поля. При *світлопольній* методиці світлі ділянки зображення формуються променями, що відбилися від поверхні об'єкту та потрапили в об'єктив. Темні ділянки в цьому випадку відповідають ділянкам поверхні, які відбили промені таким чином, що вони не потрапили в об'єктив (див. рис. 3.15).

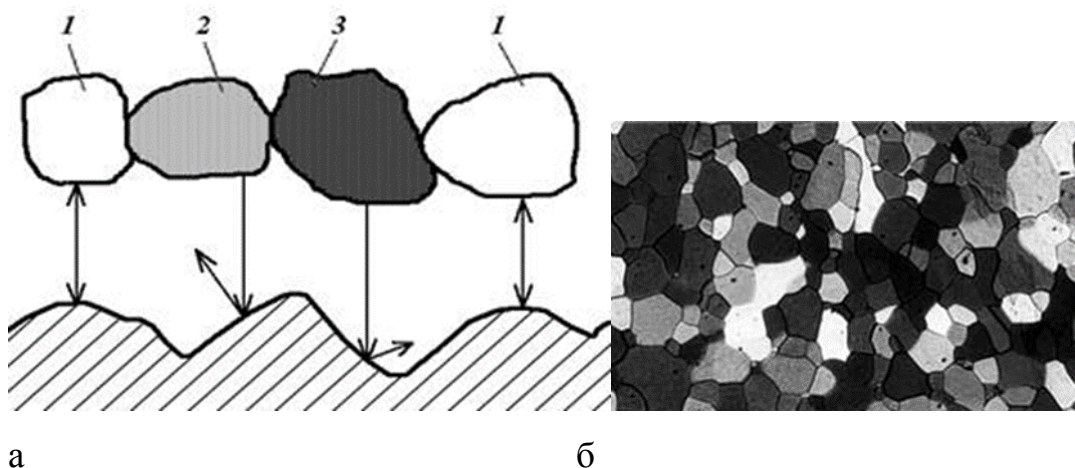
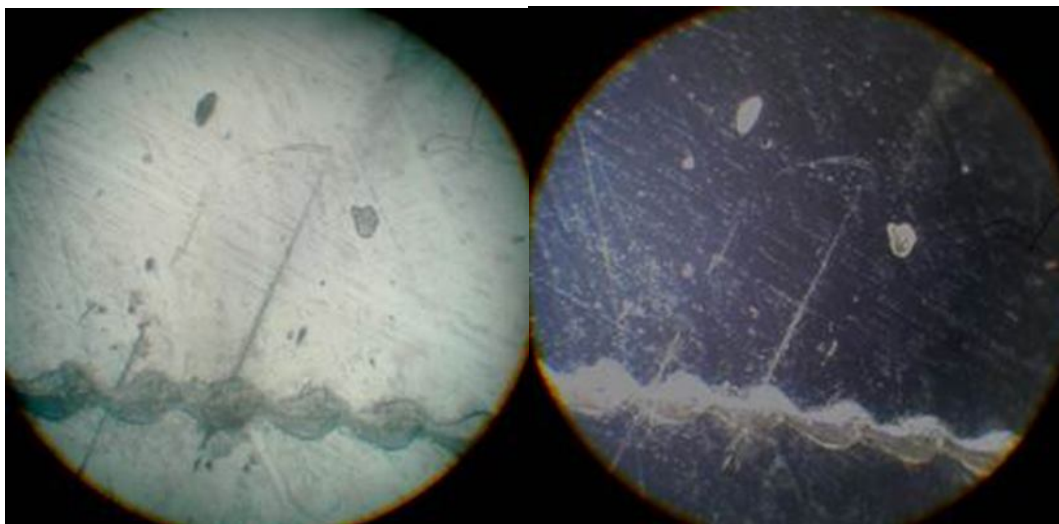


Рисунок 3.15– Формування зображення поверхні зразка при світлопольній методиці освітлення: а – схема, б – поверхня мікрошліфа.

При *темнопольному* освітленні контраст зображення суттєво підвищується, оскільки перетворюється в протилежний по відношенню до методу світлого поля: світлі ділянки стають темними, а темні – світлими (рис. 3.16).



а

б

Рисунок 3.16 – Зображення структури при світлопольному (а) та темнопольному (б) освітленні

Роздільна здатність мікроскопа визначається найменшою відстанню d між двома найдрібнішими елементами зображення структури, на якій вони ще не зливаються та їх можна розрізнити як окремі елементи. Чим більша роздільна здатність мікроскопа, тим на меншій відстані d він розрізняє дрібні структурні елементи. Максимальна роздільна здатність металографічних мікроскопів складає 0,2 – 0,3 мкм.

Максимальне корисне збільшення мікроскопа визначається за формулою

$$M = D/d,$$

де D , d – роздільна здатність людського ока (0,1 — 0,2 мкм) та мікроскопа відповідно.

Для мікроскопічних досліджень з малими збільшеннями (у 50 – 600 разів) використовується повітряне середовище між об'єктивом і об'єктом. Для досліджень з великими збільшеннями (у 500 – 1500 разів), що потребує більшої роздільної здатності об'єктива, між ним і об'єктом розташовують імерсійну рідину (кедрову олію, гліцерин, дистильовану воду), що має більший показник заломлення, ніж повітря. Об'єктиви, придатні для роботи в

повітряному середовищі, називають сухими, а об'єктиви, придатні для роботи в імерсійному середовищі, – імерсійними.

Корисне збільшення мікроскопа. Надто мале збільшення окуляра не виявляє всіх здатних до виявлення дрібних елементів структури. Разом з цим надмірне збільшення окуляра не додає до дійсного зображення, створеного об'єктивом, додаткових дрібніших елементів. Тому для ефективного проведення мікроскопічного аналізу структури необхідно здійснювати оптимальний вибір збільшення, добираючи об'єктив і окуляр з відповідними параметрами.

Порядок виконання роботи

1. Отримайте мікрошліф заданого сплаву, протріть намоченою в етиловому спирті ваткою його поліровану поверхню й просушіть її.

2. Відповідно до завдання мікроскопічного дослідження задайте збільшення мікроскопа. Для роботи з мікроскопом необхідно:

- вибрати збільшення та встановити відповідно об'єктив і окуляр;
- установити предметний столик у такому положенні, щоб об'єктив знаходився в центрі отвору кільця;
- помістити мікрошліф на столик полірованою поверхнею донизу;
- спостерігаючи в окуляр й обертаючи макрогвинт, провести грубе наведення на фокус та закріпити столик стопорним пристроєм для макрогвинта (точне фіксування здійснюється обертом мікрогвинта у тому чи іншому напрямку);
- переглянути структуру на різних ділянках мікрошліфа шляхом переміщення предметного столика за допомогою гвинтів.

У практиці металографічних досліджень часто необхідно кількісно оцінити розміри певних елементів мікроструктури: наприклад, середній діаметр зерен, частинок вторинних фаз, середню між пластинчасту відстань у перліті, глибину дифузійного насичення після хіміко-термічного оброблення, товщину гальванічного покритву тощо. Для напівкількісного аналізу розміри

оцінюють у балах, порівнюючи структуру зі стандартними еталонними шкалами. Для вимірювання абсолютних розмірів об'єктів у полі зору мікроскопа користуються окуляр-мікрометром, між лінзами якого вставлено скляну пластинку з вимірювальною шкалою.

Перед початком вимірювань слід визначити ціну поділки окуляр-мікрометра. На предметний столик мікроскопа кладуть об'єкт-мікрометр – пластинку, еталонна шкала якої завдовжки 1 мм містить 100 поділок. Таким чином, ціна поділки об'єкт-мікрометра складає 0,01 мм. Після фокусування зображення еталонної шкали об'єкт-мікрометра та вимірювальної шкали окуляр-мікрометра (обертанням його оправы) їх суміщають.

Ціну поділки окуляр-мікрометра для вибраного збільшення визначають за формулою

$$C_{ок.-м.} = C_{об.-м.} \cdot N_{об.-м.} / N_{ок.-м.},$$

де $C_{об.-м.} = 0,01$ мм – ціна поділки об'єкт мікрометра; $N_{об.-м.}$ – кількість поділок шкали об'єкт-мікрометра; $N_{ок.-м.}$ – кількість поділок шкали окуляр-мікрометра.

3. За формою, забарвленням та іншими ознаками визначте тип неметалевих виділень. Оцініть балами їх кількість, розміри, розташування методом порівняння з еталонними шкалами відповідних стандартів. Зарисуйте характерну структуру неметалевих виділень та запишіть їх повну характеристику.

4. Протравіть мікрошліф відповідним травником. Дослідіть структуру, зарисуйте її та опишіть.

5. Визначте лінійні розміри вибраного елемента структури: зерна, частинки вторинної фази, глибини дифузійного насичення тощо. Виберіть окуляр зі шкалою і, дивлячись в нього на світло та повертаючи першу лінзу, сфокусуйте її на чітке зображення вибраного структурного елемента. Пересуваючи гвинтами предметний столик, сумістіть об'єкт вимірювання зі шкалою. Для визначення лінійного розміру об'єкта кількість поділок окуляр-мікрометра, яку він займає, помножте на ціну поділки. Зарисуйте схему вимірювання.

6. Запишіть звіт по роботі, в якому стисло сформулюйте мету роботи, охарактеризуйте методику мікроскопічного аналізу на металографічному світловому мікроскопі, зарисуйте і опишіть структуру не травленого і травленого мікрошліфів сплаву, опишіть визначення ціни поділки окуляр-мікрометра й вимірювання лінійного розміру вибраного структурного об'єкта.

Прилади, матеріали та інструменти

Для проведення роботи слід мати наступне: металографічний світловий мікроскоп з комплектом окулярів та об'єктивів, об'єкт-мікрометр, комплект мікро шліфів, вата й етиловий спирт.

Контрольні питання

1. Що досліджують методом світлової мікроскопії?
2. Охарактеризуйте оптичну систему мікроскопа.
3. Як визначають збільшення об'єктива, окуляра й загальне збільшення мікроскопа?
4. Яке практичне значення має роздільна здатність мікроскопа та як можна її підвищити?
5. Що таке корисне збільшення мікроскопа та як його визначають?
6. Визначити основні елементи конструкції світлового мікроскопа.
7. Охарактеризуйте методику вирізання й закріплення зразків для виготовлення мікрошліфів.
8. Як шліфують зразки в процесі виготовлення мікрошліфа?
9. З якою метою та як полірують мікрошліфи?
10. Поясніть механізм виявлення мікроструктури сплавів унаслідок травлення поверхні.
11. Які реактиви застосовують для хімічного травлення мікрошліфа?
12. Як визначають лінійні розміри елементів структури?

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ТОЧОК І ПОБУДОВА ДІАГРАМИ СТАНУ ДЛЯ СПЛАВІВ

Мета роботи: побудувати криві охолодження методом термічного аналізу та визначити критичні точки у сплавах; побудувати діаграму стану.

Теоретичні відомості

При вивченні структурних і фазових перетворень у матеріалознавстві (металознавстві) користуються такими поняттями: сплав, компонент, фаза, твердий розчин, хімічна сполука, механічна суміш.

Сплав – це речовина, яку отримують сплавленням двох і більше компонентів. Можливі й інші методи отримання сплавів – спікання, електроліз, сублімація (у цьому випадку речовини називають псевдо сплавами).

Компонентами називають речовини, які складають систему. Це можуть бути хімічні елементи та стійкі хімічні сполуки.

Фаза – це однорідна частина системи, відокремлена від інших поверхнею поділу, при переході через яку різко змінюється хімічний склад і властивості.

Система – це тіло (речовина) або група тіл (речовин), які взаємодіють.

Тверді розчини – це фази змінного складу, в яких атоми іншого елемента *B* розміщуються в ґратках елемента *A*, не змінюючи їх типу. Розміщення відбувається заміщенням або проникненням атомів *B* між вузлами ґраток *A*. У першому випадку розчини називають твердими розчинами заміщення, у другому – твердими розчинами проникнення. Для твердих розчинів характерний металічний тип зв'язку.

Хімічна сполука характеризується певним співвідношенням компонентів і новими кристалічними ґратками, які відрізняються від кристалічних ґраток компонентів, які входять до даної хімічної сполуки. Вона виражається певною хімічною формулою, має свою температуру плавлення й інші властивості.

Поняття про діаграму стану. Діаграма стану для сплавів – граничне зображення рівноважного стану сплавів у залежності від температури і концентрації. Вигляд діаграми стану залежить від того, як реагують компоненти один з одним у твердому і рідкому станах, тобто чи розчиняються вони у твердому й рідкому станах, чи утворюють хімічні сполуки тощо. Діаграма стану для сплавів, що утворюють механічні суміші із чистих компонентів, показана на рисунку 3.17.

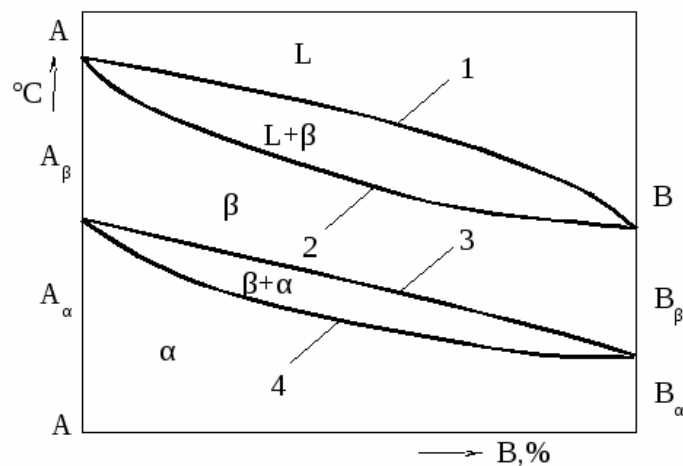


Рисунок 3.17 – Діаграма стану

Діаграми стану показують стійкі стани, тобто стани, які за даних умов володіють мінімумом вільної енергії, і тому її також називають діаграмою рівноваги, оскільки вона показує, які за даних умов існують рівноважні фази.

У результаті отримують серію кривих охолодження, на яких за температур фазових перетворень спостерігаються точки перегину і температурні зупинки.

Температури, що відповідають фазовим перетворенням, називають *критичними точками*. Деякі критичні точки мають назви, наприклад, точку, що відповідає початку кристалізації, називають *точкою ліквідус*, а кінцю кристалізації – *точка солідус*.

За кривими охолодження будують діаграму стану в координатах: за віссю абсцис – концентрація компонентів, за віссю ординат – температура.

Шкала концентрацій показує вміст компоненту *B*. Основними лініями є лінії ліквідус (1) і солідус (2), а також лінії, що відповідають фазовим перетворенням у твердому стані (3, 4).

За діаграмою стану можна визначити температури фазових перетворень, зміну фазового складу, приблизно, властивості сплаву, види обробки, які можна застосовувати для даного сплаву.

Найбільше поширення одержала діаграма залізо-вуглець, оскільки залізовуглецеві сплави складають основу металевих матеріалів, які використовує людина. Діаграма стану залізо–вуглець у графічній формі зображує фазовий склад сплаву в залежності від температури і концентрації вуглецю і складається з трьох простих подвійних діаграм:

- подвійної діаграми з обмеженою розчинністю компонентів і перитектичним перетворенням при 1499 °С,
- подвійної діаграми з обмеженою розчинністю компонентів і евтектичним перетворенням при 1147 °С,
- подвійної діаграми з обмеженою розчинністю компонентів і евтектоїдним перетворенням при 727 °С.

Методи побудови діаграм стану. Існує декілька методів побудови діаграми стану, сутність яких полягає у визначенні критичних точок при нагріванні чи охолодженні металів або сплавів. Критичними точками на діаграмі називаються температури, при яких відбуваються будь-які перетворення в сплавах.

Процес кристалізації з рідкого стану супроводжується значним тепловим ефектом, що дозволяє використовувати термічний аналіз для визначення критичних точок – температур початку і кінця кристалізації. При перетворенні у твердому стані застосовують метод пробних гартувань, а також інші методи дослідження: наприклад, диференціальний термічний аналіз, дилатометричний, електроопору тощо.

Термічний аналіз полягає у визначенні температур перетворення (критичних точок) на основі спостережень за процесами кристалізації та плавлення металу або сплаву при охолодженні чи нагріванні.

Побудова діаграми стану. Для побудови діаграми термічним методом потрібно одержати криві охолодження чистих металів та ряду їх сплавів. Метали або сплави відомого складу (150 – 200 г) завантажують у тигель, який поміщають в електропіч, і розплавляють та нагрівають від точки плавлення. Після розплавлення у сплав розміщують термопару, захищену від безпосереднього впливу металу чохлам (трубка з кварцу). Термопару приєднують до потенціометра або гальванометра. Після цього вимикають піч і стежать за охолодженням розплаву. Криві охолодження записуються автоматичним потенціометром з моменту початку охолодження до закінчення процесу кристалізації, після чого сплав додатково охолоджують протягом 2 – 5 хв.

Досліджуються криві охолодження. Поява зміни в агрегатному стані у зв'язку з виділенням схованої теплоти перетворення відображається на кривій «температура – час» у вигляді перетинів, площадок (рис. 3.18). Температури, що відповідають зміні агрегатного стану сплаву, називаються критичними.

Порядок виконання роботи

1. Провести спостереження за процесом кристалізації металів і сплавів. для цього необхідно:

- підготовлені чисті метали (120...150 г) і сплави із 5, 10, 13, 20, 40% заліза завантажити в тигель і розплавити;
- помістити у розплавлений метал гарячий сплав термопару і записати криві охолодження автоматичним потенціометром;
- визначити температуру початку і кінця кристалізації за отриманими кривими охолодження.

2. Побудувати діаграму стану. для цього у координатах «температура – концентрація» в масштабі позначити хімічний склад сплавів (на

горизонтальній осі) й температури кристалізації для відповідних сплавів (по вертикальній осі). З'єднати точки однакових перетворень плавними лініями.

3. Написати звіт по роботі, в якому коротко описати методику роботи, навести криві охолодження та діаграму стану з нанесеними на ній позначеннями фаз.

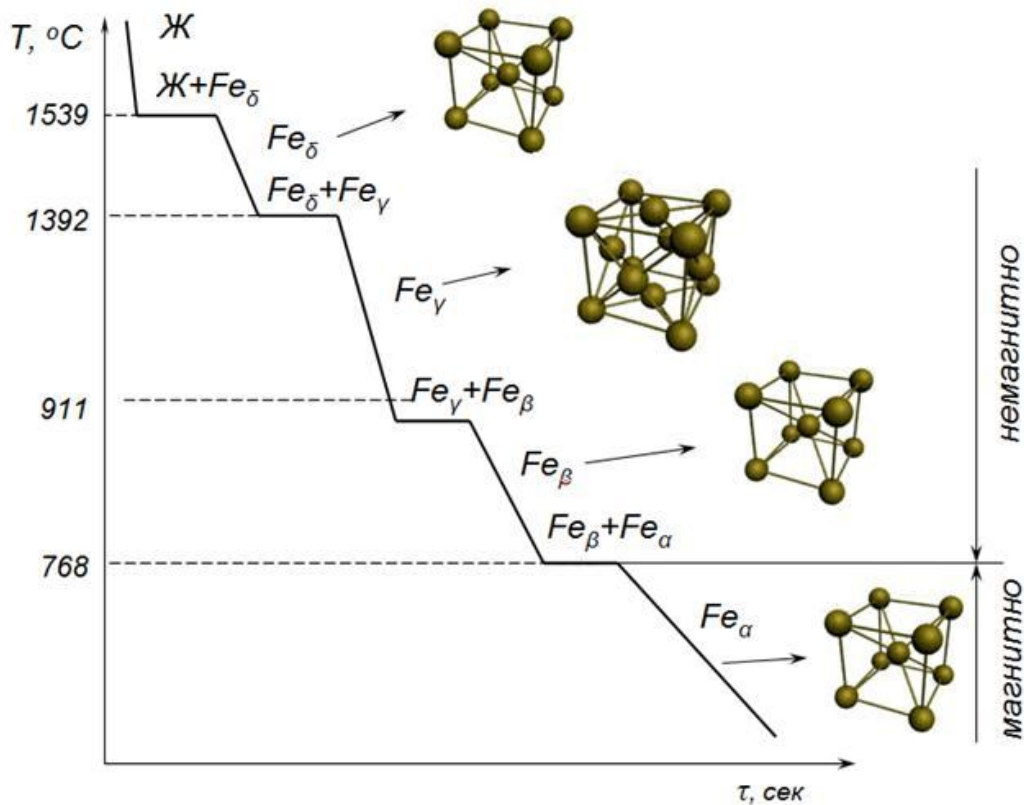


Рисунок 3.18 – Крива охолодження чистого заліза

Прилади, матеріали та інструменти

Для проведення роботи необхідно мати муфельну піч, тиглі зі сплавами, термопару, автоматичний потенціометр.

Контрольні питання

1. Що таке сплав?
2. Розкрити поняття діаграми стану і критичних точок
3. Що таке фаза? Які фази можуть утворюватися в металевих системах?
4. Обґрунтувати застосування термічного аналізу при побудові діаграми стану.

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи: вивчити методи контролю якості зварних з'єднань; визначити лінійні розміри зони термічного впливу; визначити твердість зон зварного шва; вивчити дефекти зварного з'єднання.

Теоретичні відомості

Зварюванням називається технологічний процес утворення нероз'ємних з'єднань за рахунок сил взаємодії атомів (молекул) контактуючих поверхонь деталей, що з'єднуються. Міцні атомно-молекулярні зв'язки між деталями, що з'єднуються, виникають при їх зближенні на відстань, близьку до міжатомної. Подібне зближення атомів контактуючих поверхонь можливе при наданні їм додаткової енергії (енергії активації) шляхом нагрівання (термічна активація) або пружно-пластичної деформації (механічна активація). У першому випадку утворення міжатомних зв'язків відбувається в рідкій фазі, у другому – в твердому стані. Залежно від цього всі **способи зварювання** поділяють на два основні види: *зварювання плавленням і зварювання тиском* (пластичним деформуванням). Решта методів є їх різновидами або комбінацією.

Вуглецеві сталі широко застосовуються при виготовленні конструкцій мостів, будівельних споруд, підйомно-транспортних і дорожніх машин, устаткування для нафтової і газової промисловості. Температурна сфера їх застосування може охоплювати діапазон -40 до + 425°C залежно від складу, ступеня розкислення і структурного стану, що забезпечується термообробкою.

Методи контролю зварного шва

До *неруйнівних методів контролю* якості зварних з'єднань відносять контроль для виявлення дефектів, що виходять на поверхню, контроль на непроникність (або герметичність) конструкцій, контроль прихованих і внутрішніх дефектів.

Для виявлення дефектів, що виходять на поверхню, застосовують зовнішній огляд і обмірювання геометрії зварних швів. Цим видам контролю підлягають всі зварні шви.

Зовнішнім оглядом зварних швів виявляють зовнішні дефекти: непровари, напливи, подрізи, зовнішні тріщини і пори, зсув зварюваних кромок деталей тощо. Візуальний огляд проводять як неозброєним оком, так і за допомогою лупи зі збільшенням до 10 разів.

Обмірювання геометрії зварних швів дозволяють судити про якість зварного з'єднання: недостатній переріз шва зменшує його міцність, дуже великий – збільшує внутрішнє напруження і деформації. Розміри зварних швів контролюють, як правило, вимірювальними інструментами або спеціальними шаблонами.

Зовнішній огляд і обмірювання зварних встановлюють тільки зовнішні дефекти шва і дозволяють визначити їх сумнівні ділянки, які можуть бути перевірені точнішими способами.

Контроль непроникності зварних швів і з'єднань. Зварні шви і з'єднання ряду виробів і споруд повинні відповідати вимогам непроникності (герметичності) для різноманітних рідин і газів. Враховуючи це, в багатьох зварних конструкціях (ємності, трубопроводи, хімічна апаратура тощо) зварні шви підлягають контролю на непроникність. Непроникність зварних швів контролюють такими методами: капілярним (гасом – рос. «керосином»), хімічним (аміаком), бульбочковим (повітряним або гідравлічним тиском), вакуумуванням або газоелектричними течешукачами.

Для виявлення прихованих внутрішніх дефектів використовують такі методи контролю:

- магнітні методи контролю;
- радіаційні;
- ультразвукові.

Методи контролю з руйнуванням зварних з'єднань

До цих методів контролю якості зварних з'єднань відносять:

- механічні випробування;
- металографічні дослідження;
- спеціальні випробування з метою отримання характеристик зварних з'єднань.

Ці методи контролю проводять на зварних зразках, що вирізаються з виробу або із спеціально зварених контрольних з'єднань – технологічних проб, виконаних відповідно до вимог і технології на зварювання виробу в умовах, що відповідають зварюванню виробу.

Метою контролю є: оцінка міцності і надійності зварних з'єднань і конструкцій; оцінка якості основного і присадного металу; оцінка правильності вибраної технології; оцінка кваліфікації зварників.

Властивості зварного з'єднання порівнюється з властивостями основного металу. Результати вважаються незадовільними, якщо вони не відповідають заданому рівню технічних вимог.

Механічні випробування проводяться за ГОСТ Р 57180-2016, що передбачає такі види випробувань зварних з'єднань і металу шва: випробування зварного з'єднання в цілому і металу різних його ділянок (наплавленого металу, зони термічного впливу, основного металу) на статичне розтягнення, статистичний згин, ударний згин, стійкість проти старіння, вимірювання твердості. Контрольні зразки для механічних випробувань виготовляють певних розмірів і форми.

Випробуваннями на статичне розтягування визначають міцність зварних з'єднань. Випробуваннями на статичний згин визначають пластичність з'єднання за величиною кута вигину до утворення першої тріщини в розтягнутій зоні. Випробування на статичний згин проводять на зразках з поздовжніми і поперечними швами зі знятим посиленням шва у рівень з основним металом. Випробуваннями на ударний згин визначають ударну в'язкість зварного з'єднання. За значеннями твердості судять про структурні зміни і ступінь підгартування металу при охолодженні після зварювання.

Основним завданням *металографічних досліджень* є встановлення структури металу й якості зварного з'єднання, виявлення наявності і характеру дефектів. Металографічні дослідження передбачають:

- макроструктурний;
- мікроструктурний метод аналізу металів.

При *макроструктурному методі* вивчають макрошліфи і злами металу неозброєним оком або за допомогою лупи. Макродослідження дозволяє визначити характер і розташування видимих дефектів у різних зонах зварних з'єднань.

Поверхня зразків для проведення макроаналізу повинна бути заздалегідь підготовлена послідовним шліфуванням на папері зернистістю 100 – 50 – 20 мкм. При переході на нову зернистість необхідно поверхню протерти тампоном від частинок абразиву, що залишилися, і подальше шліфування виконувати в напрямі, перпендикулярному до попереднього. Перед травленням поверхню необхідно ретельно протерти спиртом і висушити фільтрувальним папером.

Для травлення поверхні сталей можна застосовувати розчини хлорних солей заліза або азотної кислоти:

- травильник 1: $20 \text{ г FeCl}_3 + 100 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$;
- травильник 2: $100 \text{ г FeCl}_3 + 150 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3 + 50 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$;
- травильник 3: $25 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3 + 75 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$.

При травленні поверхня макрошліфа протирається тампоном, змоченим у травильнику, до виявлення макроструктури – зон, на поверхні темплету, що мають різне забарвлення з окресленими межами.

При *мікроструктурному аналізі* досліджується структура металу при збільшенні в 50 – 2000 разів за допомогою оптичних мікроскопів. Мікродослідження дозволяє встановити якість металу, зокрема виявити перегрів і перепалювання металу, наявність оксидів, засміченість металу шва неметалічними включеннями, величину зерен металу, зміну його складу, мікроскопічні тріщини, пори і деякі інші дефекти структури.

Методика виготовлення шліфів для металографічних досліджень полягає у вирізанні зразків зі зварних з'єднань, шліфуванні, поліруванні і травленні поверхні металу спеціальними травильниками. Металографічні дослідження доповнюються вимірюванням твердості і за необхідності хімічним аналізом металу зварних з'єднань.

Спеціальні випробування проводять з метою отримання характеристик зварних з'єднань, що враховують умови експлуатації зварних конструкцій: визначення корозійної стійкості для конструкцій, що працюють у різних агресивних середовищах; втомній міцності при циклічних навантаженнях; повзучості при експлуатації в умовах підвищених температур та ін.

Дефекти зварного з'єднання

Кожен виробничий процес припускає визначені відхилення від вимог технічних норм. Якщо такі відхилення виходять за межі встановлених допусків для конкретного виробу – це брак, дефект, який повинен бути усунений. Якщо усунення дефекту неможливе, виріб не може бути прийнятий до експлуатації. У зварювальному виробництві якісним виробом є правильно зварений виріб, вузол, конструкція. У виробках, виконаних зварюванням, дефекти розрізняються:

- за місцем їх розташування;
- за причинами виникнення.

Дефекти за причинами їх виникнення пов'язані з явищами, що відбуваються в процесі кристалізації і формування самої зварювальної ванни і остаточного формування шва. На якість зварного шва у цьому випадку впливають підготовка і зборка елементів, дотримання режиму зварки, наявність справного устаткування, кваліфікація зварника та ін. До дефектів цієї групи відносять:

- невідповідність швів розрахунковим розмірам;
- непровари;
- підрізи;
- пропали;
- напливи;
- незаварені кратери.

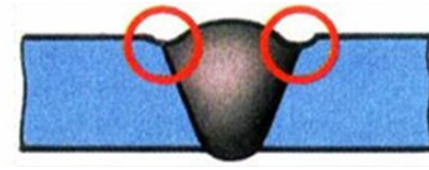
Дефекти за місцем їх розташування – це тріщини і пори, що виходять на поверхню металу, непровари, пропали, підрізи, напливи – всі вони належать до зовнішніх дефектів і можуть бути виявлені зовнішнім оглядом (рис. 3.19). До внутрішніх дефектів відносять ті ж тріщини, непровари, включення і пори, але які знаходяться усередині шва і не виходять на поверхню. Їх виявляють тільки методами неруйнівного контролю.

Ще один різновид дефекту – нерівномірність шва. З'являється дефект унаслідок нестійкого режиму зварювання, неточного напрямку електрода. Якщо це автоматизоване зварювання, то причини в коливанні напруги в мережі, проковзування проволочки в роликах, що її подають, протікання рідкого металу в зазори, неправильний кут нахилу електрода.

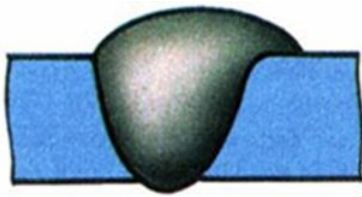


1– тріщини

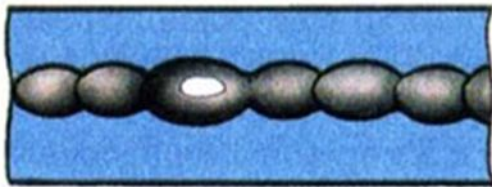
Рисунок 3.19 – Внутрішні і зовнішні дефекти зварних швів



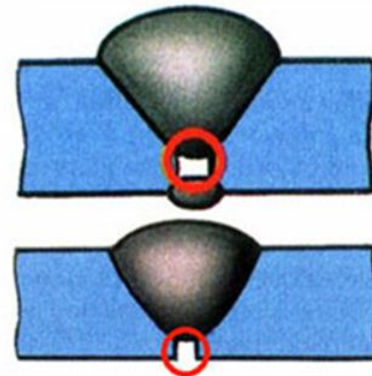
2 – підрізи



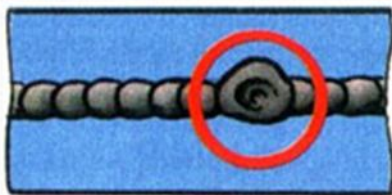
3 – напливи



4 – прожог

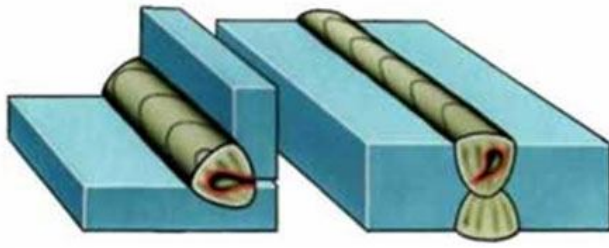


5 – незаповнення і непровар шва

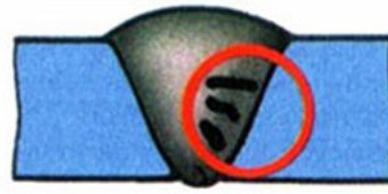


6 – кратер шва

Продовження рисунка 3.19



7 – свищ;



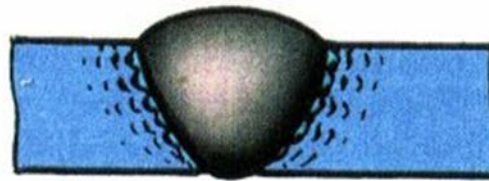
8 – сторонні включення



9 – пористість



10 – перепал металу шва



Закінчення рисунка 3.19

Характерні зони зварного з'єднання

Зварні з'єднання, виконані зварюванням плавленням, можна розділити на декілька зон, що відрізняються макро- і мікроструктурою, хімічним складом, механічними властивостями і іншими ознаками: зварний шов, зону сплаву, зону термічного впливу й основний метал. Характерні ознаки зон пов'язані з фазовими і структурними перетвореннями, яких зазнає при зварюванні метал у кожній зоні (рис. 3.20).

Зона термічного впливу (ЗТВ) – ділянка основного металу, що прилягає до зварного шва, в межах якого внаслідок теплової дії зварювального джерела нагрівання проходять фазові та структурні перетворення в твердому металі. У результаті цього ЗТВ має відмінні від основного металу величину

зерна і мікроструктуру. Разом з тепловою дією основний метал пришовної зони, як правило, підлягає також пластичній деформації під дією термічних напружень, що виникають внаслідок нерівномірного нагрівання. Температура нагрівання різних ділянок ЗТВ перебуває в межах від температури плавлення (поблизу шва) до початкової температури основного металу. Будова і розміри ЗТВ залежать від хімічного складу, теплофізичних характеристик зварюваного металу, а також від температурного режиму (термічного циклу) зварювання.

Розглянемо будову ЗТВ на прикладі маловуглецевої сталі (рис.3.20). Відповідно до діаграми стану Fe-Fe₃C (рис. 3.20, справа). ЗТВ складається з шести характерних ділянок.

Перша ділянка (**ділянка неповного розплавлення**) безпосередньо прилягає до металу шва (наплавленого металу). Ця ділянка формується з двофазного (рідина – тверде тіло) стану і подібно до наплавленого металу має дендритну будову. Саме тут і відбувається зварювання. Ділянка має невелику ширину і за хімічним складом і структурою відрізняється від сусідньої ділянки основного металу.

Сукупність вузької ділянки шва, розташованої біля лінії сплаву і оплавленої ділянки пришовної зони (ПШЗ) називають **зоною сплавлення (ЗС)**, або **перехідною зоною**. Перша ділянка утворюється внаслідок недостатньо ефективного перенесення розплавленого основного металу в центральні частини зварювальної ванни. Тут має місце перемішування наплавленого і основного металу в сумірних частках. На оплавленій ділянці ПШЗ можлива поява між оплавленими зернами рідких прошарків, що мають аналогічний склад. У разі застосування різнорідних наплавленого і основного металів (наприклад, аустенітного і перлітного) ЗС виразно спостерігається у вигляді перехідного прошарку. Часто вона має хімічний склад, вторинну мікроструктуру і властивості, що суттєво відрізняються від металу шва і ЗТВ. Розподіл елементів по ширині ЗС має складний характер, який визначається процесами перемішування наплавленого й основного металу, дифузійного

перерозподілу елементів між твердою і рідкою фазами і в твердій фазі на етапі охолодження.

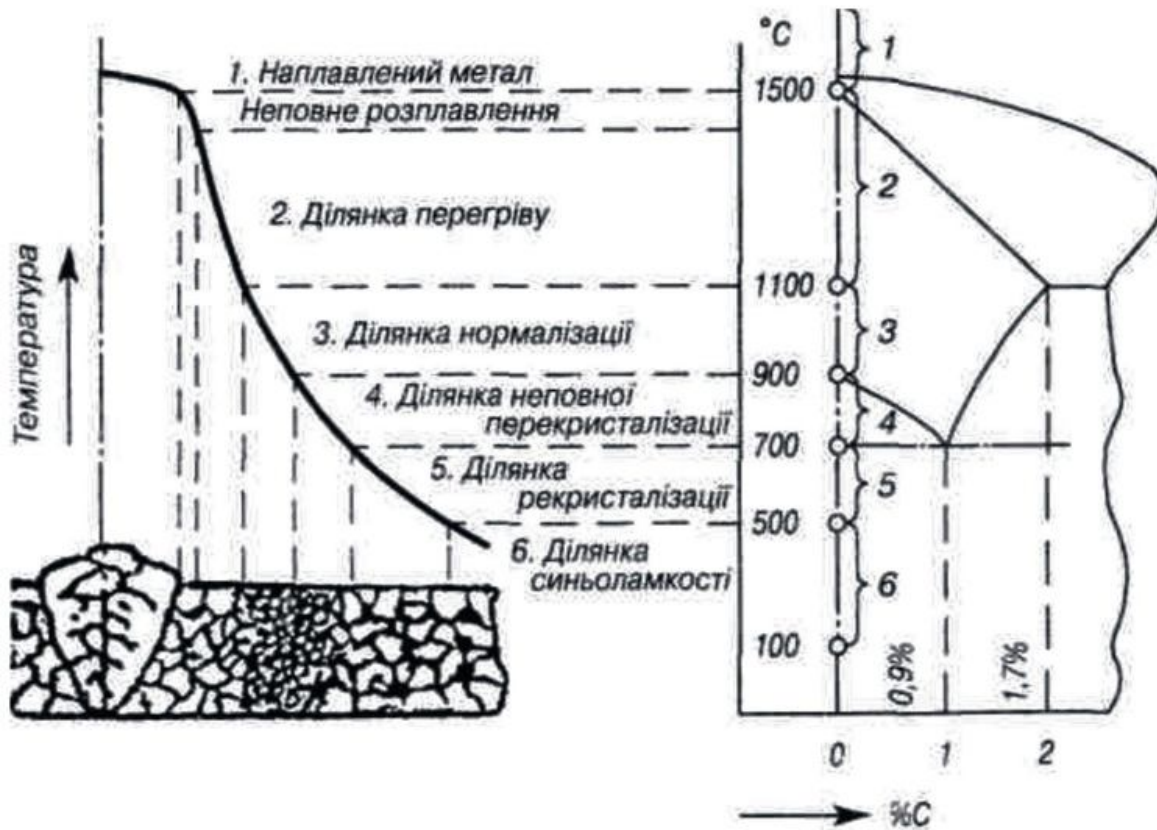


Рисунок 3.20 – Зміна мікроструктури металу в зоні термічного впливу при зварюванні низьковуглецевої сталі

Властивості зони сплавлення у ряді випадків роблять найбільш суттєвий вплив на працездатність зварних конструкцій, оскільки при динамічних навантаженнях тут найчастіше утворюються тріщини.

Друга ділянка ЗТВ, що отримала назву **ділянки перегріву** (ділянка крупного зерна), включає метал, нагрітий від температури $\sim 1200^{\circ}\text{C}$ до температури плавлення. Метал на цій ділянці зазнає поліморфного перетворення: $\text{Fe}_{\gamma} \rightarrow \text{Fe}_{\delta}$.

При значному перегріві вище точки Ac_3 відбувається збільшення аустенітного зерна. Як правило, метал на другій ділянці пришовної зони має гірші властивості, ніж основний метал. Завдання вибору раціональної

технології зварювання зводиться, у першу чергу, до забезпечення найменшого погіршення властивостей металу на цій ділянці.

Третя ділянка пришовної зони отримала назву **ділянки перекристалізації (нормалізації)**. Вона містить метал, що набув у процесі нагрівання вище A_{c3} повністю аустенітної структури, а при помірному охолодженні дрібнокристалічної будови. Ця ділянка характеризується хорошими механічними властивостями.

Четверта ділянка пришовної зони, що отримала назву **ділянки неповної перекристалізації**, містить метал, нагрітий від температури, при якій починається перетворення (727°C), до температури $\sim 880^{\circ}\text{C}$ (між точками A_{c1} і A_{c3}). Метал на цій ділянці піддається тільки частковій перекристалізації. Тому тут разом із зернами основного металу, що не змінилися в процесі зварювання (ферит), присутні зерна, що утворилися при перекристалізації (перліт).

На п'ятій ділянці основної зони, що іменується **ділянкою рекристалізації**, метал нагрівається до 727°C . Тут відбувається перекристалізація роздроблених при пластичному деформуванні зерен основного металу і деяке зменшення його порівняно з початковим станом. Структура цієї зони мало відрізняється від структури основного металу.

Крім того, в зону термічного впливу входить ділянка **синьоламкості**. При температурі $200-500^{\circ}\text{C}$ відбувається процес старіння – закріплення атомами впровадження дислокацій, що призводять до зменшення їх рухливості і підвищення крихкості.

У разі багатопрохідних швів пришовна зона розташовується не тільки в основному металі, але і в металі шва. При цьому її будова в межах шва значно відрізняється від будови в основному металі. Як правило, в межах перших трьох ділянок спостерігається утворення дрібнозернистих структур, що характеризуються підвищеною пластичністю. При цьому зона крупного зерна відсутня.

Зварний шов характеризується литою макроструктурою метала. Йому властива первинна мікроструктура кристалізації – стовбчасті кристали, тип якої залежить від складу шва і умов фазового переходу з рідкого стану в твердий (рис. 3.21).



Рисунок 3.21 – Структура зварного шва на сталі Ст. 3, х 200: 2-3 – ділянка перегріву, 3-4 – ділянка нормалізації; 4-5 – ділянка неповної перекристалізації

Порядок виконання роботи

У даній роботі студент вивчає макро- та мікроструктуру виданих викладачем шліфів, вирізаних зі зварних з'єднань після дугового електрозварювання покритими електродами.

При виконанні роботи необхідно:

1. Ознайомитися і вивчити теоретичні положення теми занять.
2. Після приготування макрошліфа розглянути його при збільшенні до 30 разів, виявити наявність тріщин, пор, непроварів, включень та ін. дефектів, нанести їх на рисунок зварного з'єднання і описати.

3. За межами зміни забарвлення поверхні визначити лінійний розмір зони термічного впливу.

4. За допомогою металографічного мікроскопа вивчити будову ЗТВ. Виявити і сфотографувати характерні ділянки.

5. Провести розмітку зварного з'єднання із заданим інтервалом (рис. 3.22) і визначити значення твердості за перерізом шва. Число вимірювань вибирати залежно від розміру шва.

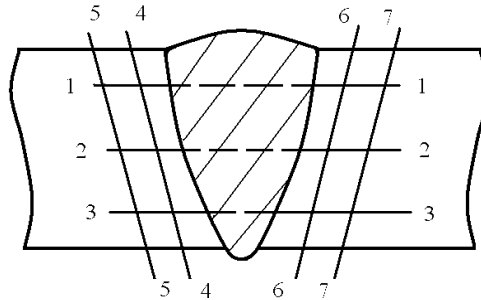


Рисунок 3.22 – Схема розмітки стикового зварного шва

6. Орієнтовно визначити значення межі міцності (σ_s) і текучості ($\sigma_{0,2}$) наплавленого і основного металу за співвідношеннями (ГОСТ 22761-77; 22762-77):

$$\sigma_s = 0,345 \text{ HB}; \sigma_{0,2} = 0,2 \text{ HB}.$$

7. Заповнити таблицю 1 і побудувати графік розподілу твердості за перерізом зварного шва (рис. 3.23).

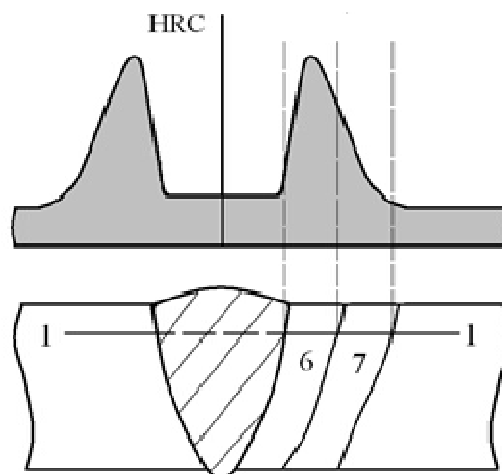


Рисунок 3.23 – Приклад розподілу твердості за перерізом зварного з'єднання вуглецевої сталі

8. Визначити за графіком розмір зони термічного впливу і порівняти з результатами макроаналізу.

9. Порівняти результати досліджень і зробити висновки.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання твердості (HRB; HRC)

Номер вимірювання	Твердість на лініях				
	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5

Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- 1) короткі теоретичні відомості;
- 2) класифікацію методів контролю зварних з'єднань;
- 3) коротку загальну характеристику дефектів зварних з'єднань;
- 4) частину діаграми стану з описом зон зварного з'єднання;
- 5) згідно з завданням:
 - а) характеристику дефектів зварного з'єднання;
 - б) схему зварного з'єднання з мікроструктурами зон зварного шва;
 - в) таблицю вимірювання твердості;
 - г) графік розподілу твердості за перерізом зварного шва (рис.6);
 - б) шляхи поліпшення зварюваності матеріалів;
- 7) висновки з роботи.

Прилади, матеріали та інструменти

Для проведення роботи необхідно мати:

1. Набір шліфів, вирізаних зі зварних швів вуглецевих сталей.
2. Твердоміри ТШ і ТК.
3. Лупа, металографічний мікроскоп.
4. Реактиви для проведення травлення.

Контрольні питання

1. Перелічити методи контролю зварних з'єднань.
2. Які методи контролю застосовують для виявлення зовнішніх дефектів?
3. Опишіть суть і призначення методу контролю на непроникність.
4. Які методи застосовують для виявлення внутрішніх дефектів?
5. Яке завдання металографічних досліджень зварних з'єднань?
6. Причини виникнення дефектів при зварюванні плавленням.
7. Перелічити дефекти зварних з'єднань, що найчастіше зустрічаються.
8. Зони зварного з'єднання і причини їх виникнення.
9. Охарактеризуйте ділянки зони термічного впливу, причини їх утворення і характерні особливості.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Практикум : [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. за напрямом «Інженерна механіка»] / В. В. Попович, А. І. Кондир, Е. І. Плешаков та ін. — Львів : Світ, 2009. — 551 с. — ISBN 978-966-603-401-7.
2. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : словник-довідник / В. Попович, В. Попович. — Львів : Світ, 2010. — 304 с.

Виробничо-практичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до проведення самостійної, контрольної, лабораторних робіт
із дисципліни

«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

*(для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»
спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології)*

Укладач **ШАПОВАЛ** Світлана Володимирівна

Відповідальний за випуск *О. В. Кондращенко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *С. В. Шаповал*

План 2017, поз. 13 М

Підп. до друку 07.12.2017. Формат 60 × 84 1 /16.

Друк на різнографі. Ум. друк. арк.2,0.

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова

вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.